

26 [2018] 2 [56]

ZNANSTVENI ČASOPIS ZA ARHITEKTURU I URBANIZAM
A SCHOLARLY JOURNAL OF ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

SVEUČILIŠTE
U ZAGREBU,
ARHITEKTONSKI
FAKULTET
UNIVERSITY
OF ZAGREB,
FACULTY OF
ARCHITECTURE

ISSN 1330-0652
[https://doi.org/
10.31522/p](https://doi.org/10.31522/p)
UDK | UDC 71/72
CODEN PORREV
26 [2018] 2 [56]
217-404
7-12 [2018]



Af

POSEBNI OTISAK / SEPARAT | OFFPRINT

ZNANSTVENI PRILOZI | SCIENTIFIC PAPERS

244-257 **HARIS BRADIĆ**
ZORAN VERŠIĆ

MODELI TRANSFORMACIJE ZGRADE OSNOVNE
SKOLE SABURINA U SARAJEVU KAO POSLJEDICA
ZAHTJEVA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK
[https://doi.org/10.31522/p.26.2\(56\).3](https://doi.org/10.31522/p.26.2(56).3)
UDK 727.112:721.02:72.02 (497.6 SARAJEVO)
"19/20"

TRANSFORMATION MODELS BASED ON ENERGY
EFFICIENCY REQUIREMENTS FOR THE PRIMARY
SCHOOL BUILDING *SABURINA* IN SARAJEVO

ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER
[https://doi.org/10.31522/p.26.2\(56\).3](https://doi.org/10.31522/p.26.2(56).3)
UDC 727.112:721.02:72.02 (497.6 SARAJEVO)
"19/20"



HARIS BRADIĆ¹, ZORAN VERŠIĆ²

¹ BIH – 71000 SARAJEVO, HUSREFA REDŽICA 6

² SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ARHITEKTONSKI FAKULTET
HR – 10000 ZAGREB, KAČICEVA 26

haris_bradic@yahoo.com
zoran.versic@arhitekt.hr

¹ BOSNIA AND HERZEGOVINA – 71000 SARAJEVO, HUSREFA REDŽICA 6

² UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF ARCHITECTURE
CROATIA – 10000 ZAGREB, KAČICEVA 26

haris_bradic@yahoo.com
zoran.versic@arhitekt.hr

IZVORNI ZNAJSTVENI ČLANAK

[https://doi.org/10.31522/p.26.2\(56\).3](https://doi.org/10.31522/p.26.2(56).3)

UDK 727.112:721.02:72.02 (497.6 SARAJEVO) "19/20"

TEHNIČKE ZNAJSTOSTI / ARHITEKTURA I URBANIZAM

2.01.03. – ARHITEKTONSKE KONSTRUKCIJE, FIZIKA ZGRADE,
MATERIJALI I TEHNOLOGIJA GRAĐENJA

ČLANAK PRIMLJEN / PRIHVACEN: 20. 4. 2018. / 11. 12. 2018.

ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER

[https://doi.org/10.31522/p.26.2\(56\).3](https://doi.org/10.31522/p.26.2(56).3)

UDC 727.112:721.02:72.02 (497.6 SARAJEVO) "19/20"

TECHNICAL SCIENCES / ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

2.01.03. – ARCHITECTURAL STRUCTURES, BUILDING PHYSICS,
MATERIALS AND BUILDING TECHNOLOGY

ARTICLE RECEIVED / ACCEPTED: 20. 4. 2018. / 11. 12. 2018.

MODELI TRANSFORMACIJE ZGRADE OSNOVNE ŠKOLE SABURINA U SARAJEVU KAO POSLJEDICA ZAHTJEVA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI

TRANSFORMATION MODELS BASED ON ENERGY EFFICIENCY REQUIREMENTS FOR THE PRIMARY SCHOOL BUILDING *SABURINA* IN SARAJEVO

ENERGETSKA UČINKOVITOST
MODELI TRANSFORMACIJE
OSNOVNA ŠKOLA SABURINA
SARAJEVO, BIH

ENERGY EFFICIENCY
TRANSFORMATION MODELS
PRIMARY SCHOOL *SABURINA*
SARAJEVO, BOSNIA AND HERZEGOVINA

Rad prikazuje cjelokupan proces analiziranja postojećeg stanja zgrade Osnovne škole Saburina u Sarajevu, dobivene rezultate stvarnih energetske potrebe zgrade i emisije CO₂, modele transformacije postojeće zgrade u energetske učinkovite i različite modaliteta energetske sanacije. Zgrada na kojoj se provodilo istraživanje građena je u razdoblju između dva svjetska rata.

This article presents the entire analysis of the Primary School building *Saburina* in Sarajevo, the obtained results regarding the actual energy needs of the building and CO₂ emission, models of transforming the existing building into an energy-efficient one and diverse energy rehabilitation models. The building selected for the analysis was built between the two World Wars.

UVOD

INTRODUCTION

Nestabilne cijene energenata, sve očitije klimatske promjene, osjetne u svakom segmentu života, te neminovan konačni nestanak fosilnih goriva – nalazu sve veće uštede energije i umanjenje emisije CO₂ u zgradarstvu. Kako su postojeće zgrade najveći potrošači energije, nametnulo se pitanje: što učiniti i na koji ih način transformirati u suvremene i energetske učinkovite zgrade?

Rad predstavlja dio istraživanja koje je sprovedeno tijekom izrade doktorske disertacije na temu *Transformacija arhitekture kao posljedica zahtjeva energetske učinkovitosti na primjeru postojećih zgrada*. Istraživanje je obuhvatilo analizu i modalitete sanacije zgrade Osnovne škole Saburina u Sarajevu, Saburina 4. Osim dosezanja razine niskoenergetske zgrade s visokim komforom unutaršnjeg prostora, cilj je preobrazbe i otvaranje pitanja mogućnosti primjene mjera poboljšanja energetske učinkovitosti na zgradi s povišenim značenjem. Zgrada je od velikoga povijesnog, kulturološkog i arhitektonskog značenja jer je jedna od prvih zgrada za osnovno obrazovanje u gradu Sarajevu, rijedak primjer gradnje iz razdoblja između dva svjetska rata zbog svog oblika i forme. Svojim volumenom dominira nad zgradama u okruženju. Njeno arhitektonsko značenje najviše se očituje u skladu projektiranog odnosa visine i širine zgrade, ulaznog pročelja kojim dominira prilazno ukrasno stubište, oblikom vanjskih otvora i ukrasima na fasadi, a osobito

ulaz u objekt s trovodnim krovom nad trijemom poduprtim dvama stupovima. Jedinstvenost se jasno vidi i u orijentaciji objekta prema gradu, što omogućava izuzetan pogled na grad Sarajevo. Karakteristike izgleda vanjskih otvora također su veoma zanimljive zbog vertikalne i horizontalne podjele drvenim profilima u originalnoj vanjskoj stolariji. Zgrada nije planski sanirana još od doba prvobitne gradnje, pa je zbog toga ona danas zgrada visokih energetske potreba i visoke emisije CO₂. Zbog svojih arhitektonskih elemenata (fasadni ukrasi) i detalja zgrada je vrlo kompleksna za primjenu mjera energetske efikasnosti. Rezultati primijenjenih mjera otvaraju diskusiju o prihvatljivosti istih na postojećim pročeljima te o tome kada postojeća zgrada počinje gubiti svoj prvobitni vizualni identitet zbog usklađivanja s trenutnim europskim normativima iz područja energetske učinkovitosti.

Zgrade s posebnom namjenom, kao što je osnovno obrazovanje, imaju svoje precizno propisane pravilnike o uvjetima korištenja unutrašnjeg prostora, po čemu se izdvajaju od ostalih javnih zgrada i zbog čega predstavljaju vrlo zahtjevne sustave. Pretpostavlja se da današnji uvjeti u kojima djeca borave u spomenutim zgradama ne zadovoljavaju standarde higijensko-tehničkih uvjeta i zahtjeva fizike zgrade zbog promijenjenog načina korištenja prostora, a samim tim predstavljaju i visoke potrošače energije. Istraživanje je pokazalo da se zgrade i danas aktivno koriste, bez uvažavanja činjenice da su uvjeti za boravak djece neprimjereni. Iz tog je razloga bitno, kako znanstveno tako i u praktičnom djelovanju, ukazati na potrebu njihove cjelokupne obnove, a time i preobrazbe u energetske učinkovite. Osim navedenoga, otvara se i velik potencijal uštede energije na postojećim zgradama. U konačnici, sve navedeno rezultira novim procesom u arhitekturi, a u praksi, osim energetske efikasnosti, i poboljšanjem kvalitete boravka i procesa učenja u prostorijama, većim zadovoljstvom svih korisnika i općenito boljim uvjetima za odvijanje nastavno-obrazovnog procesa.

¹ SGS 43°51'49.54", IGD 18°26'10.52", NVM 613 m, godina izgradnje: 1926., katnost: Po+Pr+1, prosječan broj učenika u posljednjih 10 godina: 528. Prvotni naziv škole bio je Kraljević Andrija, a sadašnji je dobila 1993. godine. Arhitekt izvornoga djela autorima nije poznat.

² Mahala Kovaci (*Mahala* – gradska četvrt namijenjena za stanovanje) razvijena je sjeverno od Bašarsije, na uzvišenju koje je najvećim svojim dijelom orijentirano prema jugu i jugozapadu.

³ Prvu poznatu medresu izgradio je bosanski namjesnik Firuz-beg u Sarajevu između 1505. i 1512. godne. [KASUMOVIC, 1999: 159]

⁴ OŠ Saburina ima izrazen problem vanjskih otvora, osobito zbog starosne dobi otvora (više od 50 godina), fizičkih oštećenja i neadekvatnog održavanja tijekom korištenja.



ANALIZA ZGRADE OŠ SABURINA

ANALYSIS OF THE PRIMARY SCHOOL BUILDING SABURINA IN SARAJEVO

Zgrada javne ustanove Osnovne škole Saburina izgrađena je 1926. god. u razdoblju između dva svjetska rata, a projektirana je pod snažnim utjecajem graditeljstva u doba Austro-Ugarske Monarhije. Zgrada Osnovne škole Saburina nalazi se u gradu Sarajevu, u općini Stari Grad u Ulici Saburina¹, *mahali* (gradska četvrt) Kovaci², i jedna je od prvih osnovnih škola u gradu Sarajevu.³ Zbog velikog priljeva učenika, 1960. godine dograđen je i dodatni dio, odnosno 'objekt B' (Sl. 2.). Ukupna je korisna površina školskog prostora 2983 m², od čega je 1397 m² zatvorenog i 1586 m² otvorenog prostora. Nalazi se na južno orijentiranoj padini spomenute četvrti, iznad groblja Kovaci, točnije blizu *Kapije na Kovacima*, na granici nekadašnjega grada Sarajeva iz razdoblja Otomanskog Carstva. Volumen zgrade dominira u okruženju u odnosu na okolne gradske stambene vile katnosti P+1, što osigurava osunčanje pročelja, krova i neiskorištenog prostora uokolo škole tijekom cijele godine.

Istraživanje je obuhvatilo analizu prvobitno izgrađenog dijela, tj. 'objekta A', izostavljajući dograđene dijelove iz 1960. godine ('objekt B') jer nisu u istom sustavu grijanja (Sl. 2.). Zgrada (objekt A) ima korisnu površinu od 1289 m², koja obuhvaća prostor podruma, prizemlja, I. kata i tavana, koji je negrijani prostor i služi kao ostava.

ANALIZA POSTOJEĆE OVOJNICE ZGRADE

ANALYSIS OF THE PRESENT BUILDING SKIN

Zgrada nije planski rekonstruirana već gotovo šest desetljeća pa se i moglo očekivati da je ovojnica u izuzetno lošem stanju. Jugozapadna orijentacija padine na kojoj se nalazi zgrada utjecala je na ideju da zgrada svojim

5 Na fasadnoj strukturi postoje ukrasi koji stvaraju zadržavanje, što je jasno vidljivo u fotodokumentaciji i nacrtima pročelja. Okviri oko otvora i vijenci moraju se zadržati prilikom sanacije.



najvećim pročeljima slijedi padinu, a to otvara potencijal u korištenju obnovljivih izvora energije, osobito Sunca i vjetra (Sl. 3., Tabl. 1.).

Terenskim istraživanjem utvrđeno je stvarno stanje ovojnice i napravljen kompletan proračun prolaska topline, vodene pare i toplinske stabilnosti konstrukcije na ljetni režim. Fotodokumentacija prikazuje nezadovoljavajuće stanje svih dijelova ovojnice, kako zbog dotrajalosti tako i zbog neprimjerenog održavanja zgrade. Prozori na zgradi identični su prvobitnom obliku i izvedeni su drvenim okvirima s jednostrukim ostakljenjem. Toplinski gubici vanjskih otvora imaju izrazito visoke *U*-vrijednosti, koje dosežu 5,8 W/m²K⁴, te velike ventilacijske gubitke zbog dotrajalosti i nedovoljnog brtvljenja. Primjetna fizička oštećenja na vanjskim otvorima i spojevima sa zidom uzrok su nekontroliranih toplinskih gubitaka (Sl. 4.). Funkcionalni je aspekt vanjskih otvora nezadovoljavajući zbog otežanog otvaranja i zatvaranja pojedinih dijelova, što sprječava adekvatno provjetravanje unutrašnjeg prostora i čišćenje staklenih površina (negativan utjecaj na prirodno osvjjetljenje prostora).

Faktor oblika zgrade iznosi 0,39 m¹, što govori o kompaktnom volumenu školske zgrade. Analiza zgrade napravljena je uvidom u originalnu projektnu dokumentaciju iz arhive škole te pregledom i mjerenjem na licu mjesta. Dograđeni objekt B potpuno je odvojen od prvobitne zgrade pa je to omogućilo neovisno promatranje stare školske zgrade (objekt A). Zidovi zgrade izvedeni su od pune opeke, a debljine zidova⁵ kreću se od 45 do 60 cm, dok je svijetla visina unutarnjeg prostora od 2,15 m do 4,1 m. Netransparentni je dio ovojnice također u vrlo lošem stanju. Vanjska vapneno-cementna žbuka ima velik broj pukotina, što ukazuje na dotrajalost fasadnih obloga. Cjelokupna sanacija, kao i umanjenje *U*-vrijednosti svih građevinskih dijelova, neizbježan je zahvat koji otvara velik potencijal u umanjenju ukupnih transmisijskih i ventilacijskih gubitaka energije kroz fasadne plohe (Sl. 1.).

Istraživanje je također obuhvatilo detaljno mjerenje trenutnog stanja geometrijskih

SL. 2. POLOŽAJ OBAJU OBJEKATA (A I B) U GRADSKOJ ČETVRTI KOVACI U SARAJEVU

FIG. 2 POSITIONS OF THE TWO BUILDINGS (A AND B) IN THE NEIGHBOURHOOD

SL. 3. ZGRADA OŠ SABURINA: (A) ZAPADNO I (B) ULAZNO PROČELJE

FIG. 3 PRIMARY SCHOOL BUILDING SABURINA IN SARAJEVO, (A) WEST FAÇADE AND (B) FRONT OF THE BUILDING

TABL. I. GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE ZGRADE OŠ SABURINA

TABLE I GEOMETRICAL CHARACTERISTICS OF THE PRIMARY SCHOOL BUILDING SABURINA

Etaza	Površina korisnog prostora (m ²)	Volumen zraka u tretiranom prostoru (m ³)	Svijetla visina korisnog prostora (m ²)
Podrum	263,00	567,20	2,15
Prizemlje	513,00	2103,30	4,10
I. kat	513,00	2103,30	4,10
Potkrovlje	Negrijani prostor		
Ukupno	1289,00	4773,80	
Podatci za ovojnicu (membranu između tretiranog i netretiranog prostora)			
Pročelje	Netransparentne površine (m ²)	Transparentne površine (m ²)	Ukupno (m ²)
Sjever	252,73	39,98	292,71
Istok	287,86	83,34	371,20
Jug	275,07	38,62	313,69
Zapad	382,05	67,39	449,44
Pročelja ukupno	1197,71	229,33	1427,04
Medukatna konstrukcija prema tavanu			462,00
Pod na tlu			669,30
Ukupna površina ovojnice (m²)			2558,34



SL. 4. VANJSKI OTVORI, TRENUTAČNO STANJE
FIG. 4 EXTERNAL OPENINGS, PRESENT CONDITION

karakteristika zgrade i digitalizaciju podataka u računalnom programu *AutoCad* (verzija, 2014.) radi lakšeg upravljanja u daljnjim analizama karakteristika ovojnice te iskoristivosti u drugim računalnim programima za proračune energetske potreba. Slike 4. i 5. prikazuju digitalizirane nacрте izradene na osnovi izvorne i dosad jedine sačuvane projektne dokumentacije ove zgrade.

Analiza je pokazala da ovojnicu zgrade čini šest osnovnih građevnih dijelova za koje su proračunate U -vrijednosti. Prvi su tip vanjski zidovi u etaži prizemlja i I. katu, a definiraju se kao vanjski zid TIP1. Zidovi su izvedeni punom opekom, obostrano ožbukani vapneno-cementnom zbukom. Ukupna je debljina zida 60 cm. Koeficijent prolaska topline $U=1,14$ W/m²K, tok vodene pare je stacionaran i masa je zida 1050 kg/m², što zadovoljava parametar toplinske stabilnosti konstrukcije na ljetni režim. Ukupna površina zida TIP1 u ovojnici jest 885,4 m². Sanacijom je potrebno poboljšati toplinsko-izolacijsku vrijednost zida i umanjiti U -vrijednost ovoga dijela ovojnice zgrade.

Druga dva tipa vanjskog zida, TIP2 i TIP3, nalaze se na poziciji etaže podruma, koji su djelomično ukopani u tlo i izvedeni prirodnim kamenom⁶ debljine 57-60 cm. Koeficijent prolaska topline ovih zidova iznosi $U=1,67$ W/m²K i $U=1,87$ W/m²K, a masa je zida 1150 kg/m².

Pojava vlage nije zabilježena s unutrašnje strane i pretpostavlja se da s vanjske strane zida postoje hidroizolacijski slojevi. Ukupna površina ovih zidova jest 161,7 m². Preporuke o sanaciji bit će razradene u nastavku rada u modelima transformacije.

Ukupna površina pozicije poda na tlu iznosi 669,3 m², a U -vrijednost je 1,73 W/m²K, što ukazuje na potrebu za sanacijom glede smanjenja gubitka topline prema tlu.

Pozicija stropa prema negrijanom tavanu ima dobra toplinsko-izolacijska svojstva (drvena krovna konstrukcija)⁷, U -vrijednost iznosi 0,37 W/m²K. Ukupna je površina stropa 462 m². Ekonomska će isplativost sanacije stropnih struktura odrediti hoće li se istoj pristupiti ili ne.

Vanjski su otvori dotrajali i oštećeni djelovanjem vanjskih i unutarnjih utjecaja pa je neophodna njihova potpuna zamjena. Analizom su definirana četiri tipa vanjskih otvora. Vanjski otvori OTV1 odnose se na ulazna vrata koja su izvedena u kombinaciji drvo/staklo, gdje je staklo jednostruko s jasno vidljivim fizičkim oštećenjima, s $U=4,88$ W/m²K. Vanjski otvori OTV2 jesu prozori koji se nalaze na etaži prizemlja i I. kata s proračunatim $U=5,2$ W/m²K. Izvedeni su kao i prethodni tip, s postotno većim udjelom jednostrukog stakla. U etaži podruma nalaze se dva tipa OTV 3 i OTV 4 vanjskih otvora s izrazito visokim U -vrijednostima 5,8 W/m²K. Izvedeni su metalnim okvirima i ostakljeni jednostrukim staklom. Pozicije su zanatski izvedene pa su zbog toga njihovi transmisivni i ventilacijski gubici izrazito veliki.

Svi tipovi vanjskih otvora u lošem su fizičkom i estetskom stanju te tehnički neispravni (nemogućnost zatvaranja i otvaranja). Srednja U -vrijednost vanjskih otvora iznosi 4,82 W/m²K. S obzirom na srednju vrijednost netransparentnih dijelova, koja iznosi 1,24 W/m²K, srednja vrijednost za cijelu ovojnicu školske zgrade iznosi 1,56 W/m²K (Sl. 4., Dijag. 1., 2. i 3.).

Konačni rezultat analize stvarnog stanja ovojnice govori da je ovojnicu potrebno rekonstruirati i sanirati radi zadovoljavanja energetske učinkovitosti (smanjenja gubitka topline, što će otvoriti nastanak novoga vizualnog identiteta), osobito na poziciji vanjskih otvora. Dijagrami 2. i 3. pokazuju postotni omjer ploštine postojećih građevnih dijelova u ovojnici zgrade. Vanjski otvori imaju udio od 9% u ukupnoj ovojnici i predstavljaju velik potencijal za smanjenje energetske potreba,

TABL. II. TOPLINSKI GUBITCI PRORAČUNATI PUTEM ENSI EAB SOFTWAREA
TABLE II THERMAL LOSSES CALCULATED BY MEANS OF ENSI EAB SOFTWARE

	I.	II.	III.	IV.		IX.	X.	XI.	XII.
	Φ_r Transmisivni gubici, 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 gubici, 84.834,52 W/godina (29% od ukupnih)								
	16096,55	16236,79	12750,25	5609,64		873	5504,46	11102,42	16661,41

6 Kamen je lomljeni, različitih oblika, lokalnog podrijetla.

7 Na ovoj poziciji ovojnice ugrađen je sloj toplinske izolacije (staklena vuna) u debljini od 10,0 cm.

8 Za sve proračune u izradi analiza primijenjeni su računalni programi: Ensi EAB Software BiH, Novolit i Ki Expert. Dr. sc. H. Bradić certificiran je za korištenje progra-

ali i definiranje novoga koncepta vanjskih otvora (novi dizajn i materijalizacija), koji trebaju dobiti novu ulogu u cjelovitoj energetske dizajniranoj ovojnici zgrade. Zavod za zaštitu nacionalnih spomenika Kantona Sarajevo treba dati mišljenje o prihvatljivosti novoga koncepta vanjskog otvora, što otvara diskusiju o odnosu postojeće i standarda energetske učinkovitosti buduće arhitekture.

ANALIZA UKUPNIH ENERGETSKIH POTREBA ZGRADE

ANALYSIS OF THE OVERALL ENERGY NEEDS OF THE BUILDING

Na osnovi prikazane dokumentacije i obrađenih nacrti stvarnog stanja izrađena je analiza ukupnih energetske potreba zgrade primjenom *softwarea* za proračun potrebne energije.⁸

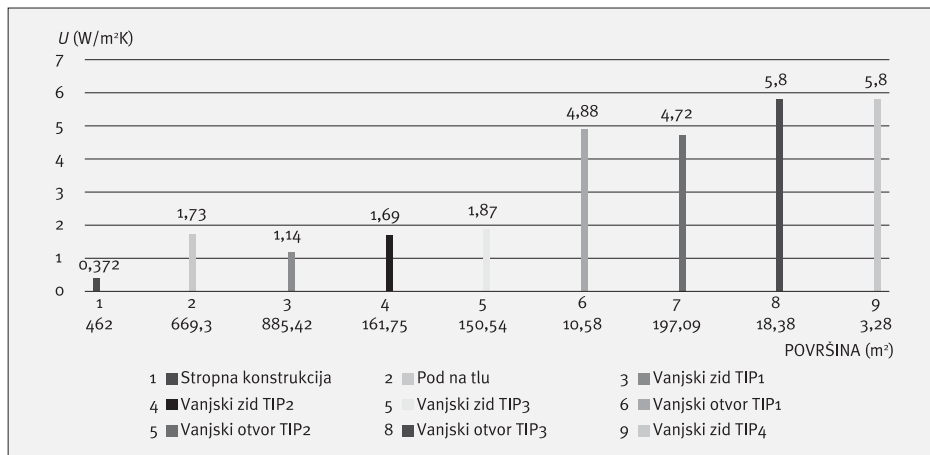
Proračun potrebne toplinske energije za **grijanje** – Škola ima vlastitu plinsku kotlovnicu u susjednoj zgradi (objekt B), koja je podzemnim cijevnim vodovima povezana s promatranim dijelom škole (objekt A). Toplinska energija u zgradi distribuira se cijevnim sustavom s radiatorima. Za obrađenu zgradu napravljena je priključna stanica (pumpno postrojenje) iz koje se energija distribuira po etažama. Najveća je mana izvedenoga sustava nemogućnost mjerenja stvarnog utroška energije, s obzirom na to da ne postoji kalorimetar koji bi izmjerio utrošak posebno za svaki objekt. 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 dobiven je rezultat od 184,3 kWh/m²/god.⁹ ili ukupno na godišnjoj razini 237.562,7 kWh. To obuhvaća energetske potrebe zgrade OŠ Saburina nastale zbog transmisijskih i ventilacijskih gubitaka energije (Tabl. II.).

Proračun potrebne toplinske energije za **hlađenje** – Analiza potrebne energije za hlađenje izvedena je putem kalkulacije u računalnom programu *Novolit 2009*. Ukupan rezultat energetske potreba za hlađenje cjelokupnoga unutarnjeg prostora jest: 5,88 kWh/m²/god. ili 7589,00 kWh/god.

Proračun potrebne toplinske energije za **pripremu tople vode** – U zgradi ne postoji centralno niti sustavno rješenje proizvodnje tople

ma i provođenje energetske audita objekta od strane norveške kompanije ENSI. Program radi u skladu s *Directive 2010/31/EU, 2002/91/EC, ISO 13790:2008*.

⁹ Proračun ukupnih toplinskih gubitaka zgrade OŠ Saburina napravljen je na osnovi podataka o ovojnici prezentiranih u radu i vrijednosti solarnog faktora $g = 0,783$ i infiltracije 1,0, koji su uneseni u spomenuti program.



vode. U sanitarnim blokovima ne koristi se topla voda, a jedino mjesto u zgradi gdje postoji priprema tople vode jest kuhinja u kojoj je instaliran električni bojler. Sve to jasno ukazuje na potrebu sveobuhvatne rekonstrukcije kako bi se zadovoljili svi potrebni higijensko-tehnički uvjeti boravka djece. Kreiranjem sustava za proizvodnju tople vode bit će povećane i ukupne energetske potrebe, ali samim time i otvorene mogućnosti za instaliranje energetske učinkovitih sustava. Nakon simulacije potrebne energije za pripremu tople vode dobiven je rezultat od 22,1 kWh/m²/god.

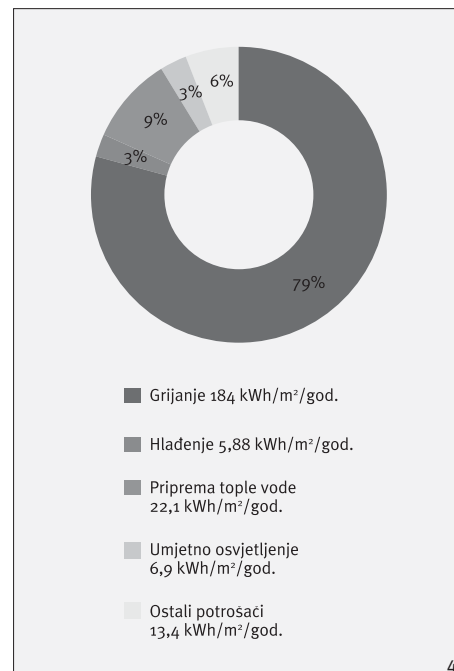
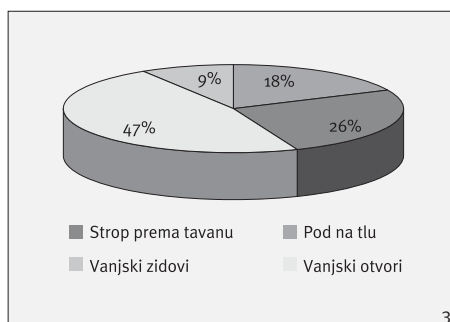
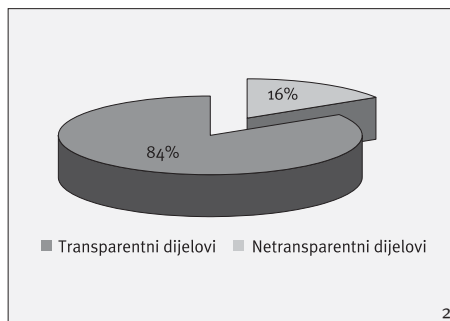
Proračun potrebne električne energije za **rasvjetu i ostale potrošače** – Ukupne energetske potrebe za umjetno osvjetljenje jesu 6,9 kWh/m²/god., a za ostale potrošače električne

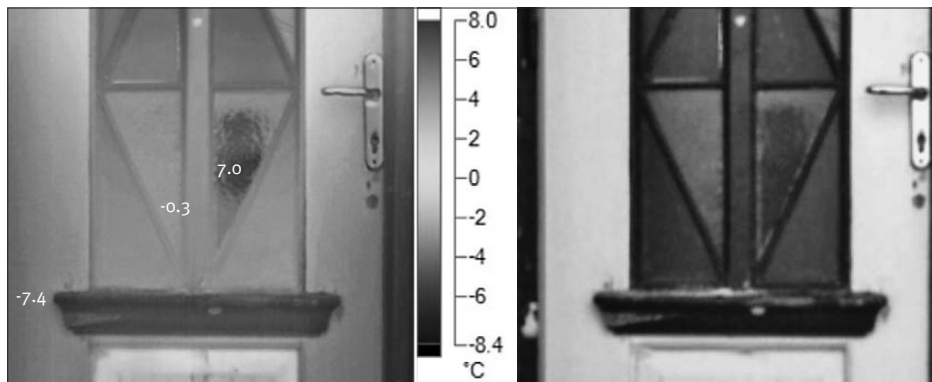
DIJAG. 1. ODNOS POVRŠINA I U-VRIJEDNOSTI U KOMPLETNOJ OVOJNICI
DIAG. 1 RELATIONSHIP BETWEEN THE SURFACES AND U-VALUES IN THE ENTIRE SKIN

DIJAG. 2. ODNOS TRANSPARENTNIH I NETRANSPARENTNIH PLOHA U FASADNOJ STRUKTURI
DIAG. 2 RELATIONSHIP BETWEEN TRANSPARENT AND OPAQUE PLANES IN FACADE STRUCTURE

DIJAG. 3. ODNOS POVRŠINA U KOMPLETNOJ OVOJNICI
DIAG. 3 RELATIONSHIP AMONG THE SURFACES IN THE ENTIRE SKIN

DIJAG. 4. UKUPNE ENERGETSKE POTREBE
DIAG. 4 ENTIRE ENERGY NEEDS





SL. 5. TERMORIZIJSKA SNIMKA S VANJSKE STRANE NA ULAZNA VRATA U SKOLU
FIG. 5 THERMOVISION IMAGE OF THE SCHOOL ENTRANCE

ne energije $13,4 \text{ kWh/m}^2/\text{god}$. Ukupna potrebna energija za rasvjetu i ostale potrošače električne energije na godišnjoj razini iznosi $20,3 \text{ kWh/m}^2/\text{god}$. Rasvjetna tijela u zgradi daju zadovoljavajuću razinu umjetnog osvjetljenja, ali ne pripadaju u energetske učinkovite, što nije prihvatljivo, pa je potrebna zamjena kompletnog sustava umjetne rasvjete, kako unutra tako i vani. Rasvjeta je pretežno izvedena fluorescentnim cijevima, a u prostorijama ostave, kupaonice i kuhinje nalaze se svjetiljke sa žarnom niti. Ukupna instalirana snaga umjetne rasvjete jest 8904 W ili $6,9 \text{ W/m}^2$. Ostali su električni potrošači u skoli dotrajali i potrebna je njihova sveobuhvatna i ciljana zamjena novim, energetske učinkovitijima.

Ukupne energetske potrebe zgrade jesu $232,28 \text{ kWh/m}^2/\text{god}$. (Dijag. 4.).

ANALIZA POSTOJEĆE OVOJNICE PUTEM TERMOGRAFSKE KAMERE

ANALYSIS OF THE PRESENT SKIN BY THERMOGRAPHIC CAMERA

Termografske snimke dokazuju pretpostavku koja je uočena pregledom zgrade, tj. da su toplinski gubici izrazito veliki kako na vanjskim otvorima tako i kroz vanjske zidove. Snimke na Sl. 5. prikazuju temperaturne razlike između temperature prvoga vanjskog sloja i temperature vanjskog zraka od $\Delta 20 \text{ °C}$ na pojedinim mjestima¹⁰, čime se i ovom metodom dokazuje vrlo loše stanje transparentnih dijelova ovojnice zgrade, jasno vidljivo kroz intenzivan tijek toplinske energije.

Rezultati termografskog snimanja pokazuju da se radi o ovojnici s velikim toplinskim gubitcima po m^2 površine, osobito na pozicijama vanjskih otvora. Evidentni su problemi zbog jednostrukog ostakljenja, malih dimenzija profila u okviru i krilu otvora te deformacijama vanjskih otvora (izvijanje drvenih profila, fizička oštećenja, spoj profila i stakla). Sve navedeno uzrok je velikih transmisivnih i ventilacijskih gubitaka. Potrebno je osmisliti nove elemente, prozore koji će moći odgovo-

riti na potrebe suvremenih i energetske učinkovitih zgrada i ovojnica.¹¹ Zbog južne i zapadne orijentacije potrebno je veliku pozornost posvetiti redizajnu transparentnih ploha kako bi se unutrašnji prostor zaštitio od prekomjernog ulaska sunčane energije. Potrebno je dizajnirati tzv. kinetički otvor¹² koji bi bio prilagođen vanjskim utjecajima na mikrolokalitetu i time na najbolji način pridonio očuvanju toplinske energije unutar prostora i generiranju sunčane energije (suživot s okruženjem u pogledu energije).

ANKETA UČENIKA I NASTAVNOG OSOBLJA O KVALITETI UNUTRAŠNJEG PROSTORA

SURVEY ON THE QUALITY OF INDOOR SPACE CONDUCTED AMONG PUPILS AND TEACHERS

Anketa u skoli provedena je 28.11.2012. godine kod 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. U anketi su postavljena četiri pitanja¹³, a grafički prikaz rezultata obrađenih odgovora dan je u Dijag. 5. i Dijag. 6.

Trenutačno je stanje komfora unutarnjeg prostora nezadovoljavajuće jer se radi o lošim uvjetima za boravak djece s mnogo aspekata higijensko-tehničkih uvjeta¹⁴. Ponajprije, nije zadovoljena kvaliteta unutarnjeg zraka s gledišta temperature, relativne vlažnosti i zagusljivosti, a ne postoji ni kontrolirani ventilacijski sustav, nego se ventiliranje prostora provodi prirodnim putem preko vanjskih otvora. Osobito se veliki problemi javljaju u prostorijama orijentiranim prema jugu i zapadu jer su previše osunčane pa zbog toga tijekom godine dolazi do pregrijavanja unutrašnjih prostorija, a time i neprihvatljivih uvjeta za odvijanje nastave. Rezultati provedene ankete ukazuju na zaključak da je unutrašnji zrak pregrijan u ljetnom razdoblju i time potvr-

¹⁰ Snimka ukazuje na to da je vanjski sloj ovojnice znatno topliji u odnosu na temperature vanjskog zraka, što dokazuje velik prolazak topline kroz ovojnicu.

¹¹ Južna i zapadna orijentacija daju velik potencijal u generiranju toplinske energije od Sunca.

¹² Kinetički otvor predstavlja automatizirani element u transparentnom dijelu ovojnice koji bi se prilagođavao vanjskim utjecajima i potrebama unutarnjeg prostora. U daljnjem tekstu bit će detaljnije opisan sustav koji bi se primijenio.

¹³ U istraživanju sprovedena je anketa, a ukupan broj anketirane djece jest 115. Postavljena su četiri pitanja: 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 zagusljivo – da ili ne? 4) Jesu li učionice dovoljno osvijetljene u večernjim satima – da ili ne?

¹⁴ Specifičnosti higijensko-tehničkih uvjeta kod zgrada za osnovno obrazovanje cine ih kompleksnijima glede njihova saniranja radi doseganja idealnih uvjeta za bora-

duju problem vanjskih otvora. Učenici škole izjasnili su se u značajnijem postotku da umjetno osvjetljenje prostora nije prikladno.

Higijenski uvjeti u smislu opskrbe toplom vodom nisu zadovoljeni jer ne postoji priprema i instalacija tople vode u zgradi, što onemogućava korištenje u sanitarnim prostorijama. Iz tog razloga djeca nisu u prilici zadovoljiti sve svoje higijenske potrebe (npr. tuširanje ili adekvatno pranje ruku).

U sklopu 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 ne može se otvoriti), da je trenutni sustav grijanja dobar (referirajući se na toplinu, a ne na količinu utrošene energije), da je temperatura i relativna vlažnost unutrašnjeg zraka nezadovoljavajuća te da je umjetna rasvjeta nedovoljna i neúčinkovita zbog neprilagođenosti visini stropnih konstrukcija.

ZAKLJUČNO RAZMATRANJE O STVARNOM STANJU ZGRADE

CONCLUDING REMARKS ABOUT THE REAL CONDITION OF THE BUILDING

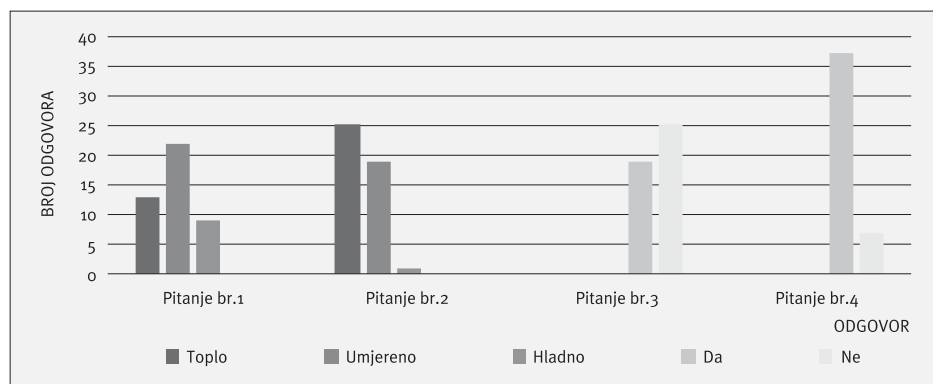
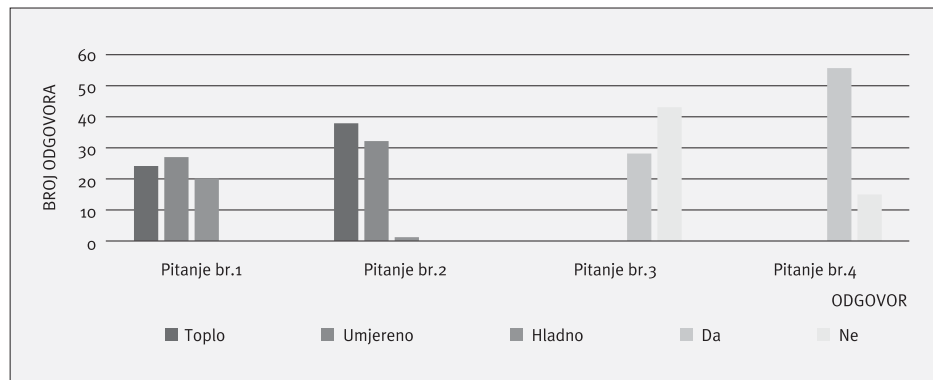
Na osnovi dobivenih rezultata analize zgrade OŠ Saburina može se zaključiti da minimalni uvjeti za rad i boravak djece, nastavnog i ostalog osoblja nisu zadovoljeni. Nema kontrole kvalitete unutrašnjeg zraka i nije zadovoljen standard izmjene zraka po satu (ventilacija ne postoji, u ljetnom razdoblju unutrašnji je zrak pregrijan). Kroz ovojnicu zgrade ostvaruju se veliki toplinski gubici, osobito na pozicijama vanjskih otvora, a evidentirana su i velika fizička oštećenja na kompletnoj ovojnici.

1. Proračunate energetske potrebe zgrade jesu 232,28 kWh/m²/god. (435 kWh/m²/god. primarne energije).¹⁵

vak djece. „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 setanje i igre (jer to mi omladini uopće ne možemo uskratiti), nego moramo urediti i vrt.“ [BAIBUTOVIĆ, 1983: 28, citat: J.A. Komensky]. Kako bi se osigurao kvalitetan boravak djece u školi, moraju biti zadovoljeni svi higijensko-tehnički uvjeti: osvjetljenje, prozračivanje, akustika i zaštita od buke, grijanje i ostale instalacije te zaštita od požara. Pravilno osvjetljenje prostora u kojem borave djeca od neizmjerne je važnosti za ugodnost čovjeka, jer u dobi od 7 do 14 godina u tim prostorijama djeca provode dnevno i do 10 sati [AUF-FRANIC, 2004: 73-68, 240].

¹⁵ Energetski razred zgrade OŠ Saburina jest E [*** 2010: 13]

¹⁶ Dinamična zaštita u obliku horizontalnih aluminijskih traka na vanjskoj strani otvora prilagođavala bi se intenzitetu Sunčeva zračenja te štiteći unutrašnji prostor od prevelikoga Sunčeva zračenja putem fotonaponskih ćelija proizvela toplotnu energiju.



DIJAG. 5. REZULTATI ANKETE DJECE UZRASTA DEVETIH RAZREDA
DIAG. 5 SURVEY RESULTS OBTAINED FROM THE 9TH-GRADE CHILDREN

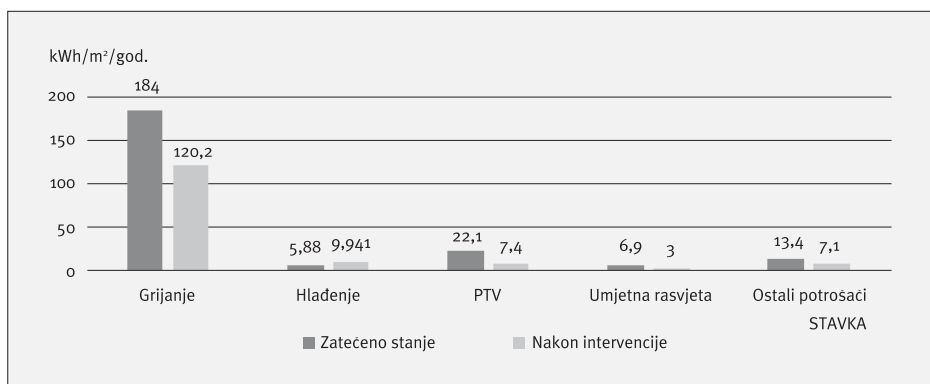
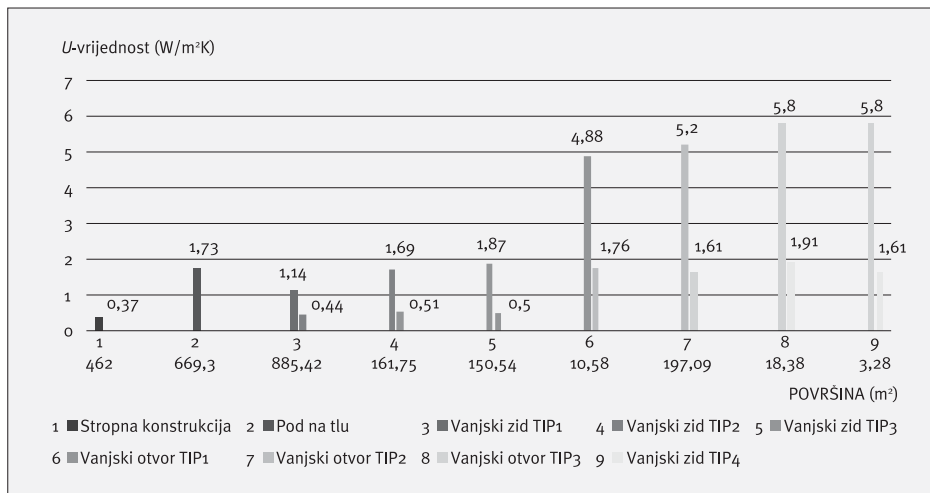
DIJAG. 6. REZULTATI ANKETE DJECE UZRASTA PETIH RAZREDA
DIAG. 6 SURVEY RESULTS OBTAINED FROM THE 5TH-GRADE CHILDREN

2. Emisija CO₂ na osnovi proračunate potrebne energije jest 87,2 kg/m²/god. ili 112,4 t/god.

3. Minimalni higijensko-tehnički uvjeti za boravak djece nisu zadovoljeni.

Zgrada koja je bila predmet analize ima snažan potencijal kreiranja energetski učinkovite arhitekture transformacijom postojeće ovojnice u koncept poluaktivne strukture s ciljem kontroliranja prolaska topline u oba smjera, tj. iz unutra prema van i obratno. Na taj način kreiramo unikatan koncept vanjskog otvora koji će biti dinamična struktura između vanjskog i unutrašnjeg prostora s ciljem pretvaranja sunčane energije u električnu.¹⁶ Zapadno pročelje na ovaj način postaje aktivni sudionik u kreiranju energetski učinkovite arhitekture.

Osobnosti mikrolokaliteta, točnije potencijal energije Sunca i vjetera, omogućavaju kreiranje relacije između zgrade i njene okoline (mikro i makro promatranje lokaliteta) te time jedinstvenog modela transformirane arhitekture kao posljedice energetske učinkovitosti. Drugi je potencijal rekonstrukcija i ugradnja tehničkih sustava za tretiranje kvalitete unutrašnjeg zraka i zadovoljavanje potreba učenika i nastavnika u provedbi nastave (sustavi grijanja, ventilacije, hlađenja, sustav rasvjete i koncept novih potrošača električne energije).



DIJAG. 7. UMANJENJA U -VRIJEDNOSTI NA POJEDINIM POZICIJAMA OVOJNICE ZGRADE. MANJE VRIJEDNOSTI NA STUPCIMA PREDSTAVLJAJU UMANJENE U -VRIJEDNOSTI NAKON PRIMJENE MJERA ENERGETSKE EFIKASNOSTI.
DIAG. 7 REDUCTIONS OF U -VALUES ON CERTAIN POSITIONS OF THE BUILDING SKIN. SMALLER VALUES REPRESENT REDUCED U -VALUES AFTER THE ENERGY EFFICIENCY MEASURES ARE APPLIED.

DIJAG. 8. PRORAČUN ENERGETSKIH POTREBA NAKON TRANSFORMACIJE (MODEL 1A)
DIAG. 8 ASSESSED ENERGY NEEDS AFTER TRANSFORMATION (MODEL 1A)

MODELI TRANSFORMACIJE ZGRADE OŠ SABURINA

TRANSFORMATION MODELS FOR THE PRIMARY SCHOOL BUILDING SABURINA

Snažan potencijal energetske uštede vidi se u transformacijama ovojnice koja trenutno nije zaštićena kao nacionalni spomenik BiH¹⁷, ali se radi o vrlo značajnoj povijesnoj zgradi.¹⁸ U nastavku su prezentirana dva modela preobrazbe, gdje drugi predstavlja nadgradnju prvoga modela.

PRVI MODEL TRANSFORMACIJE ZGRADE

FIRST TRANSFORMATION MODEL FOR THE BUILDING

Analiza potencijala smanjenja potrebne energije u procesu transformacije postojećeg stanja ovojnice imala je za cilj ukazati na mogućnost suživotu postojeće strukture s okruženjem u pogledu korištenja obnovljivih izvora energije.

Ugradnja toplinsko-izolacijskih slojeva na ovojnicu pridonosi značajnim uštedama toplinske energije i time umanjuje emisije CO₂

(ukupna površina netransparentnih fasadnih ploha jest 1427,04 m² i ako se sagledaju toplinski gubitci kroz vanjske otvore, vidi se cjelokupan potencijal). Predviđena je ugradnja toplinske izolacije u obliku ETICS sustava kamenom vunom¹⁹ te potpuna rekonstrukcija i sanacija svih ukrasnih dijelova na pročelima. Na ovaj bi način vizualni identitet ostao nepromijenjen, uz minimalno zadebljanje kompletne ovojnice, koje ne bi utjecalo na postojeći arhitektonski izraz zgrade. Ukopani dijelovi ovojnice zgrade, podrumski zidovi, toplinski ce se izolirati s unutarnje strane.²⁰

Prvi model transformacije 1a predviđa ugradnju novih elemenata u otvore na fasadi (prozori i vrata), 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 su otvori izazov u pogledu saniranja i kreiranja 'energetski aktivnog' koncepta prozora, što će biti razmatrano u modelu 2. Potrebno je voditi računa da se njihov prvobitni oblik ne izmijeni jer oni su značajan estetsko-oblikovni izričaj na pročeljima zgrade, osobito na zapadnom, ulaznom pročelju.²¹ Zapadno pročelje u razdoblju od travnja do studenoga prima veliku količinu suncane energije i predstavlja najveći potencijal u generiranju toplinske energije, ali i potrebu za kontroliranu zaštitu od pretjeranog osunčanja. Značajne energetske aktivne prozore potvrđuju, između ostalog, i podatci o klimatskim karakteristikama grada Sarajeva, kao i podatci dobiveni u provedenim anketama o kvaliteti unutrašnjeg prostora.

¹⁷ Bosna i Hercegovina, Komisija za očuvanje nacionalnih spomenika – www.kons.gov.ba

¹⁸ Zajedno sa zgradom OŠ Mula Mustafa Baseskija u Ul. Logavina u gradu Sarajevu upućuje na primjere arhitekture građene u gradu Sarajevu pod utjecajem autohtonog stila 'bosanskog sloga'. Bosanski slog počinje se razvijati krajem 19. i početkom 20. stoljeća, u razdoblju prije Prvog svjetskog rata, kao posljedica kritike arhitekata na dotadašnju gradnju. Prvi osvrt na tradiciju daje arhitekt Josip Vancas (rezolucija Bosanskom saboru 1911. godine o arhitektonskom naslijeđu), koji s nekolicinom svojih sljedbenika istražuje tradicionalnu arhitekturu podneblja i kreira kritiku koja će poslije biti povod da isti pravac slijede i mnogi drugi poznati arhitekti u gradu Sarajevu. Naime, projekt za kucu u Bosni koji je nastao već 1904. godine (arh. Ernst Lichtblau, karakteristike: povišena pozicija kuće, terasaste pristupne zone...) može se uzeti kao početak razvoja 'bosanskog sloga'. [KRZOVIC, 2004: 189-191]

¹⁹ Debljina kamene vune u pločama bila bi 5,0 cm, i to zato da se ne bi narušili dekorativni elementi na fasadnoj strukturi koji se javljaju u obliku prozorskih okvira i vijenaca. Njena ugradnja planirana je isključivo na ravnim dijelovima pročelja i na pozicijama gdje njena ugradnja ne remeti plastiku pročelja. Svi istaci i ukrasi koji u obliku konzola ili prepusta izlaze iz ravnine fasade neće biti izolirani. Na mjestu kontakta izoliranog dijela pročelja s istacima i ukrasima moguće je izvesti cezuru koja će ostaviti vidljivu plastičnost pročelja, a što je predmet izrade izvedbenog projekta i rješenja detalja. [BRADIĆ, 2014.]

²⁰ Na podrumskim zidovima nije zabilježena pojava vlage pa se pretpostavlja da s vanjske strane zida postoje hidroizolacijski slojevi. [BRADIĆ, 2014.]

²¹ Iako se radi o zgradi koja do danas nije službeno proglašena nacionalnim spomenikom Bosne i Hercegovine

Imajući u vidu da masa zida zadovoljava parametar toplinske stabilnosti konstrukcije na ljetni režim, ugradnjom novoga sloja toplinske izolacije s vanjske strane ovojnice, finalni rezultat mjera energetske učinkovitosti imao bi srednju U -vrijednost ovojnice od $0,88 \text{ W/m}^2\text{K}$ umanjenu s $1,56 \text{ W/m}^2\text{K}$, pretvarajući tako nedovoljno izoliran netransparentni dio ovojnice u građevni dio sa značajno boljim toplinsko-izolacijskim svojstvima. Konačno, zamjenom svih elemenata vanjskih otvora srednja U_w -vrijednost vanjskih otvora spustit će se s $4,82 \text{ W/m}^2\text{K}$ na $1,63 \text{ W/m}^2\text{K}$ i punih ploha s $1,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ na $0,81 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Dijag. 7. i 8.). Dijagram 8. pokazuje ukupne energetske potrebe zgrade²² nakon preobrazbe. Očito je da je konačni rezultat energetske uštede na godišnjoj razini $84,67 \text{ kWh/m}^2/\text{god.}$, tj. $109.139,63 \text{ kWh/god.}$, a da je emisija CO_2 umanjena za $36,4 \text{ kg/m}^2/\text{god.}$ ($45,5 \text{ t/god.}$), tj. za 41% . Ukupne energetske potrebe zgrade nakon izvršenih mjera iznose $147,61 \text{ kWh/m}^2/\text{god.}$ ($185.873,8 \text{ kWh/god.}$), a emisija CO_2 je $36,4 \text{ kg/m}^2/\text{god.}$

Analiza energetskeg potencijala okruženja rezultirala je prijedlogom o korištenju dvaju oblika obnovljivih izvora energije. Radi se o energiji Sunca i energiji dobivenoj pomoću mini vjetroelektrane na slobodnom prostoru koji se nalazi iza zgrade škole, što čini model transformacije 1b.

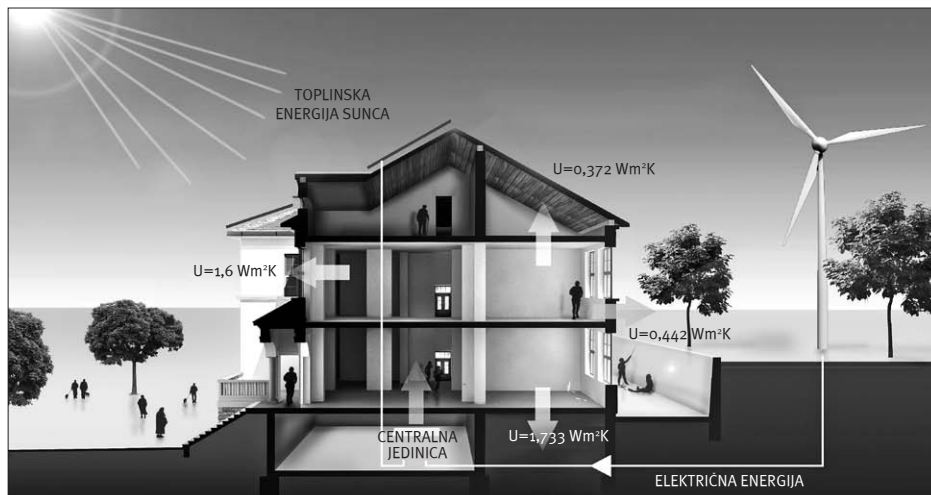
ne, svaki građevinski pothvat na zgradi potrebno je elaborirati općinskim organima i Zavodu za zaštitu kulturno-historijskog i prirodnog naslijeđa Kantona Sarajevo. Intervencije na oblikovnim karakteristikama zgrade, fasadnim strukturama i vanjskim otvorima ne mogu se raditi bez odobrenja spomenutih institucija. Povijesna je vrijednost zgrade u činjenici njena postojanja i očuvanja izvorne namjene uz nastojanje da se zadrži i izvorni izgled zgrade koliko je to moguće, a da pritom ne dođe do nemogućnosti nastavka njena korištenja u suvremenim uvjetima. Sadašnje stanje zgrade u cjelini, kao i postojeća oštećenja fasade i ukrasa, zahtijevaju neminovnu cjelovitu rekonstrukciju. Pri planiranju zahvata moguće je prihvatiti i zahtjev energetske sanacije na način da se vanjski zidovi izoliraju ugradnjom toplinske izolacije s vanjske strane na svim dijelovima na kojima je njena ugradnja moguća bez značajnog utjecaja na izvorni izgled fasade. Prilikom rekonstrukcije potrebno je ponuditi rješenje svih izvedbenih detalja s opisom izvedbe i načina ugradnje.

22 U proračunu su obračunate energetske uštede nastale i za potrebnu energiju pripreme tople vode korištenjem sunčane energije putem solarnih kolektora na krovu i instalacijom energetski učinkovite rasvjete, npr. LED rasvjeta.

23 Detaljni podatci o unikatnom modelu vjetroturbinu za ovu bi se zgradu definirali nakon izrade studije o implementaciji mjere energetske efikasnosti na ovoj zgradi, a koji bi obuhvatili sljedeće parametre: mogućnost instalacije na terenu, dimenzije vjetroturbinu, udaljenost od zgrade, razinu prihvatljive buke i kapacitet proizvodnje električne energije. Za ovaj primjer zgrade u proračun je uzeta mini vjetroturbina snage 4 kW [<http://www.greenspec.co.uk/small-wind-turbines.php>]. Ukupan kapacitet triju vjetroturbinu na godišnjoj bi razini iznosio oko $24.000,00 \text{ kWh}$ ili $18,61 \text{ kWh/m}^2/\text{god.}$

24 Trenutačno postoji otkup električne energije proizvedene putem fotonaponskih ćelija, ali je dobivanje dozvoljeno veoma zahtjevno.

25 Energetska učinkovitost zgrada obuhvata i aspekt korištenja prostora, tj. ukazuje da se cjelokupan prostor zgrade i njena okruženja treba aktivno i planski koristiti.



Zgrada OŠ Saburina ima velik potencijal u korištenju sunčane energije zbog:

1. orijentacije padine i izloženosti pročelja osunčanju,
2. orijentacije prostorija zgrade,
3. dominantne uloge volumena zgrade u odnosu na okruženje (neometan priljev sunčane energije i vjetroenergije).

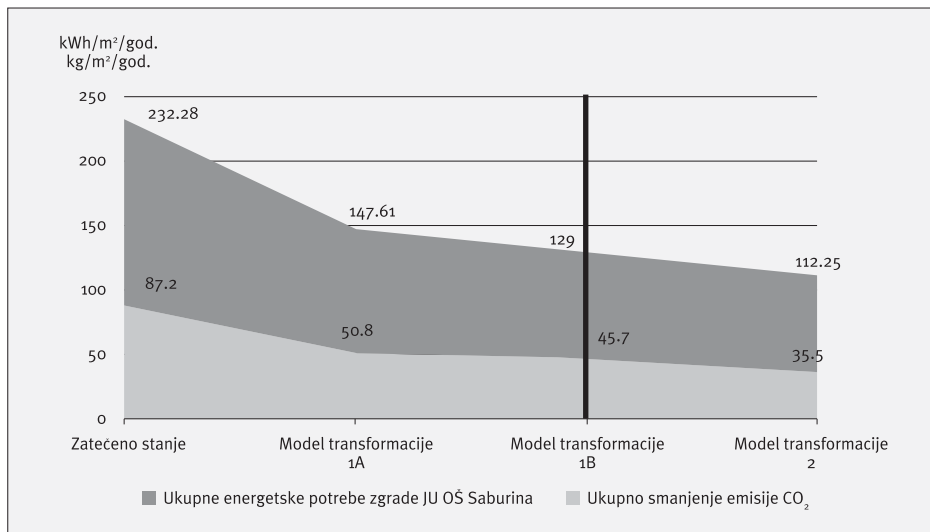
Cilj je modela kreirati ovojnicu koja će jednim svojim dijelom postati apsorber sunčane energije. Zato je potrebno definirati novi oblik vanjskog otvora, aktivnog prozora, što je obrađeno u modelu transformacije 2.

Slika 8. prikazuje prilagodavanje zgrade okruženju u smislu korištenja potencijala obnovljivih izvora energije. Električna energija dobivena iz vjetroturbinu²³ uključena je u energetske sustav zgrade, a višak se može predati u gradsku energetske mrežu.²⁴ Koncept je u potpunosti nastao na osnovi analize mikroklimatskih podataka o gradu Sarajevu, tj. o energetskeg potencijalu vjetra i Sunca (smjerovi i brzine strujanja zraka, učestalost vjetrova i prosječan priljev sunčane energije za BiH) i podacima o obnovljivim izvorima energije. Prezentira se nova relacija zgrade i okruženja koja u žarište stavlja preobrazbu cjelokupnog korištenja prostora zgrade i njena okruženja u pogledu korištenja obnovljivih izvora energije.

Modeli transformacije zgrade 1a i 1b OŠ Saburina predstavljaju cjelokupnost procesa energetskeg prilagodavanja zgrade svom okruženju. Naime, kako okolni prostor oko zgrade nije u funkciji zgrade, na ovaj se način prezentira nastanak novih odnosa zgrade (arhitekture) i čovjeka prema prostoru.²⁵ Nije moguće govoriti o energetskeg učinkovitoj arhitekturi, a da se segment korištenja prostora, tj. iskoristivost svih potencijala, ne uključi u cjelokupan proces nastajanja energetske transformirane postojeće arhitekture. Ovim

SL. 6. ANALIZA MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE NA LOKALITETU, NACRT: 3D; PRESJEK KROZ MODEL STVARNOG OBJEKTA

FIG. 6 ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF USING RENEWABLE ENERGY SOURCES ON THE SITE, DRAWING: 3D; SECTION THROUGH A MODEL OF THE REAL BUILDING



DIJAG. 9. SIMULACIJA UKUPNIH ENERGETSKIH POTREBA NAKON SVIH TRANSFORMACIJA. MOGUĆE JE SAGLEDAVATI ENERGETSKE POTREBE I UMANJENJE EMISIJE CO₂ NAKON PRIMJENA SVIH MODELA TRANSFORMACIJE (MODEL 1A, 1B I 2). U MODELU 1B PREZENTIRA SE TRANSFORMACIJA ODNOSA ZGRADE I OKRUŽENJA, TOČNIJE ZGRADA POČINJE KORISTITI OBNOVLJIVE IZVORE ENERGIJE, SUNČEVU ENERGIJU I VJETAR.

DIAG. 9 SIMULATION OF THE OVERALL ENERGY NEEDS AFTER ALL TRANSFORMATIONS. IT IS POSSIBLE TO OBSERVE THE ENERGY NEEDS AND THE REDUCTION OF CO₂ EMISSIONS AFTER THE APPLICATION OF ALL TRANSFORMATION MODELS (MODEL 1A, 1B AND 2). MODEL 1B SHOWS THE TRANSFORMATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE BUILDING AND ITS ENVIRONMENT, I.E. THE BUILDING STARTS USING RENEWABLE ENERGY SOURCES, SOLAR ENERGY AND WIND.

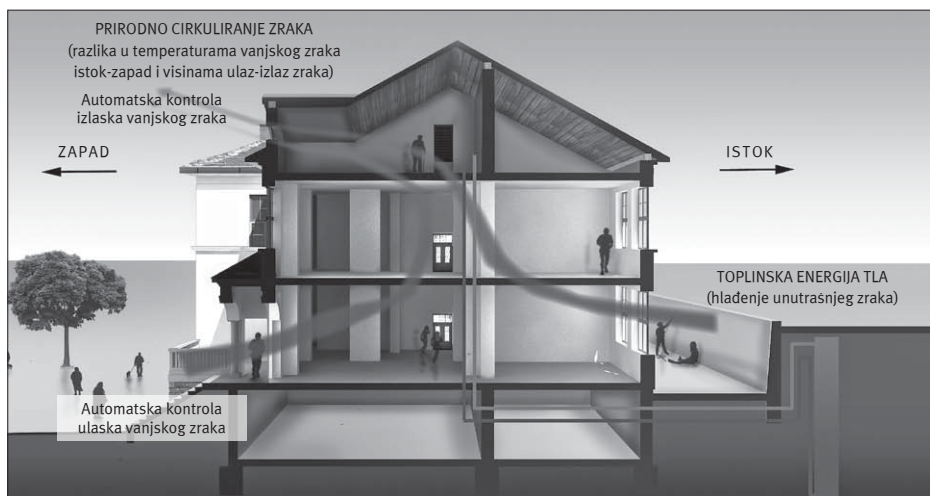
su modelom uz toplinsku sanaciju ovojnice, instalaciju solarnih kolektora na kosom krovu i korištenje energije vjeta dobivene ukupne energetske uštede od 46% u odnosu na simulirane energetske potrebe zatečenog stanja. Ukupne energetske potrebe zgrade nakon transformacije (modeli 1A i 1B) iznose 129,00 kWh/m²/god. (166.281 kWh/god.), a emisija CO₂ 45,7 kg/m²/god. (58,9 t/god.).

DRUGI MODEL TRANSFORMACIJE ZGRADE

SECOND TRANSFORMATION MODEL FOR THE BUILDING

U daljnjem procesu transformacije ovojnice nastaje novi koncept vanjskih transparentnih dijelova na pročeljima, osobito na pozicijama prozora koji postaju potpuno automatizirani dijelovi ovojnice. Bilo je potrebno kreirati poseban koncept prozora koji treba biti povezan sa senzorima (unutrašnji: osvjetljenje,

SL. 7. SCHEMA: PRIRODNO I MEHANIČKO PROVJETRAVANJE ZGRADE, PRIKAZ NA 3D PRESJEKU KROZ MODEL OBJEKTA
FIG. 7 SCHEME: NATURAL AND MECHANICAL VENTILATION OF THE BUILDING; 3D SECTION THROUGH THE MODEL



temperatura, relativna vlažnost, koncentracija CO₂ 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 provoditi kontrolirano propuštanje sunčane svjetlosti, zraka ili praviti aktivnu sjenu na unutrašnji prostor²⁶, 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 jest 1134,33 m², a od toga 189,35 m² ili 16% transparentne su 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.²⁷

Modelom 2 definiran je novi oblik vanjskog otvora koji se sastoji od automatizirane vanjske zaštite od sunca na kojoj se nalaze solarne fotonaponske ćelije u obliku tankog filma.²⁸ Zaštita od sunčane energije aktivira se u trenutku kada unutrašnji uvjeti boravka budu zadovoljeni i za djecu i za nastavnike (temperatura zraka i osvjetljenje) te kada je pročelje insulirano (Sl. 8).

Na osnovi ovoga primjera preobrazbe može se zaključiti da je ovojnica zgrade kompleksna, djelomično dinamična i tehnološki napredna energetska struktura, a daje arhitektonski identitet stalno promjenjiv i ovisan o okruženju, s konačnim ciljem što većeg korištenja obnovljivih izvora energije. Tako redizajnirana struktura treba biti otvorena i za buduće transformacije radi stvaranja što boljšega unutarnjeg komfora za boravak djece i nastavnika. I Dijag. 9. također prikazuje točku (crna linija) kada se postojeći izgled zgrade počinje mijenjati. U ovome slučaju to je djelomično vezano za interpolaciju novih vanjskih otvora u strukturu ovojnice. Ukupne energetske uštede nakon primjene obaju 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/

²⁶ Transparentne plohe postaju aktivni energetske sustavi, tehnički savršeni i prilagođeni zahtjevima unutrašnjeg komfora i klimatskim potencijalima mikrolokaliteta. Kreiran je model vanjskog otvora kroz konkretan slučaj nazvan „prozor kao regulator kriptoklime“ [HADROVIĆ, 2010: 342]. Kada je potrebna kontrola priljeva sunčane energije na tipu zgrade kakav je osnovna škola, vrlo je korisno kreirati sustav koji će štiti unutrašnji prostor postati apsorbent sunčane svjetlosti, a samim tim i 'mini' elektrana.

²⁷ Studija je provedena u suradnji s energetske odjelom tvrtke „Alukönigstahl-Schuco“, Sarajevo. Obuhvatila je proračun potencijala proizvodnje električne energije od Sunca za grad Sarajevo. Juzno orijentirano pročelje ima maksimalan godišnji potencijal od 126,28 kWh/god., a istočno pročelje 98,87 kWh/god.

²⁸ Tri vrste tankih filmova za proizvodnju električne energije: a) Amorphous silicij, b) Copper-indium-sele-

god. (66,6 t/god.), tj. za 59%. Ukupna je energetska potreba zgrade 112,25 kWh/m²/god., a emisija CO₂ jest 35,5 kg/m²/god.

MODEL VENTILIRANJA UNUTRAŠNJEG PROSTORA ZGRADE

VENTILATION MODEL FOR THE BUILDING'S INTERIOR

Ovaj primjer zgrade zahtijeva značajne količine energije za ventiliranje unutrašnjeg prostora, stvaranje prihvatljivih uvjeta za boravak djece i odvijanje nastavnog procesa. Potrebno je koristiti principe bioklimatske arhitekture (prirodno provjetranje²⁹) kako bi se umanjila potrebna energija za hlađenje i ventilaciju. Model ventiliranja za ovaj primjer transformacije obuhvaća dva pristupa (Sl. 7).

Prvi pristup predstavlja prirodno provjetranje koje nastaje cirkuliranjem zraka kroz zgradu iz suprotno orijentiranih pročelja, tj. zbog 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 zbog razlike u temperaturi inicirati kretanje zraka.

Drugi je pristup mehaničko ventiliranje, pomoću kojeg se zagrijani unutrašnji zrak preuzima putem ventilacijskih kanala i vodi u tlo na projektom predviđenu dubinu, a potom vraća u zgradu. Na ovaj način iskoristava se toplinska energija tla, koja ima konstantnu temperaturu od 10 do 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 (oko 12-16 °C). Iz tog ju je razloga potrebno dodatno zagrijati pomoću rekuperiranja toplinske energije iz izlaznoga unutrašnjeg zraka. Zamisljeni koncept koristi prirodno provjetranje uz dodatnu mehaničku potporu³⁰ i kao takav približava se principima bioklimatske arhitekture.

nium (CIS) i c) Cadmium-telluride (CdTe). [HEGGER, FUCHS, ZEUMER, 2008: 96]

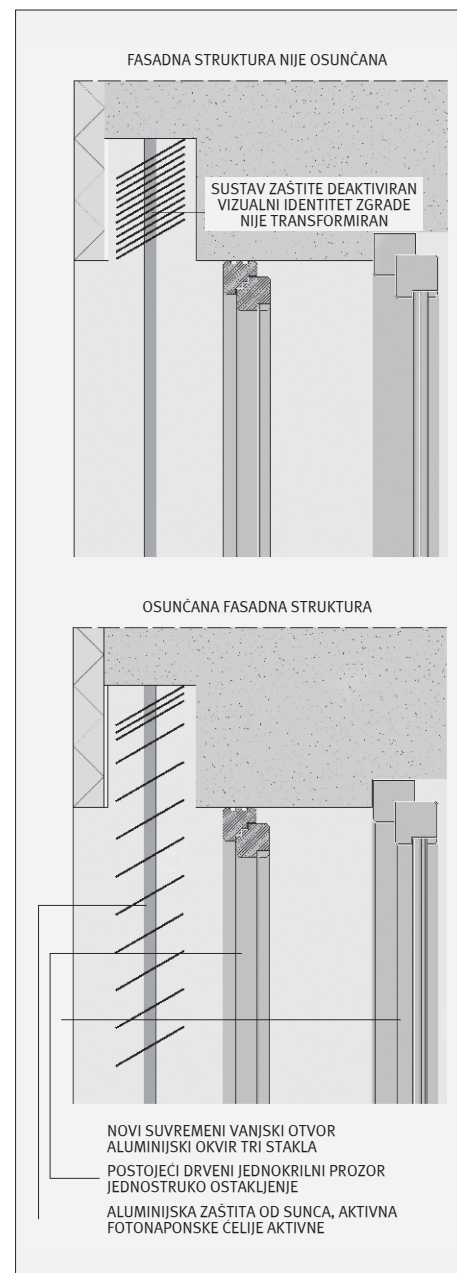
²⁹ Teži se pokretanju prirodnog toka zraka bez pomoći mehaničkih uređaja koji bi zahtijevali trošenje električne energije. Pojam bioklimatske arhitekture u cestoj je relaciji s pojmom samoodržive arhitekture. Naime, u današnjoj arhitektonskoj praksi teže se koriste tradicionalni principi gradnje koji su oduvijek davali najveći naglasak na odnos čovjeka, arhitekture i okruženja. U djelu *Bioklimatska arhitektura, traženje puta za Raj* definirane su osobnosti bioklimatske arhitekture, gdje se kaže da je povezanost ili analogija s određenim prirodnim procesima ključ autonomnosti arhitektonskog koncepta. [HADROVIĆ, 2008: 6]

³⁰ Pri ulasku i izlasku vanjskog zraka instalirali bi se automatski otvori koji na osnovi vanjske temperature zraka, brzine kretanja zraka i unutrašnjih potreba omogućavaju ulazak i izlazak zraka.

ZAKLJUČAK

CONCLUSION

U sklopu istraživanja napravljena je analiza potrošnje energije u zgradi Osnovne škole Saburina u Sarajevu i ustanovljeno je da je ona izrazito visok potrošač energije (136,54-232,28 kWh/m²/god.) i emiter CO₂, te da je neophodna preobrazba u energetske učinkovitu strukturu. Proces preobrazbe u svrhu kreiranja niskoenergetskih zgrada neminovno dovodi do transformacije postojećeg vizualnog identiteta. Primjer zgrade OŠ Saburina pokazuje da bez sveobuhvatne i ciljane sanacije ovojnice nije moguće postići zadovoljavajući rezultat. Ključno je napraviti analize transparentnih i netransparentnih ploha. To u ovome konkretnom slučaju znači korištenje koncepta aktivnog odnosa čitave ovojnice prema okolini putem automatiziranih vanjskih otvora koji će provoditi kontroliranu regulaciju protoka suncane energije u unutrašnji prostor. Zgrada mora uspostaviti aktivnu relaciju u pogledu korištenja obnovljivih izvora energije iz svoga okruženja te u konačnici kreirati djelomično kinetičku granicu između unutrašnjeg i vanjskog prostora. Snizavanje ukupnih energetske potrebe i emisije CO₂ rezultirat će poboljšanjem kvalitete i ugodnosti boravka u unutrašnjosti zgrade. Unutrašnji prostori trebaju imati konstantnu temperaturu, relativnu vlažnost, koncentraciju kisika i kontrolirano prirodno osvjetljenje. Sve navedeno dovodi do točke kada se postojeći vizualni identitet transformira, čime se otvara čitav niz pitanja koja sučeljavaju postojeću arhitekturu s novim zahtjevima. U radu su na stvarnom primjeru prikazane posljedice ispunjavanja zahtjeva energetske uštede i emisije CO₂ na postojeći vizualni identitet. Nije moguće doseći postavljeni cilj trostrukog ili većeg smanjenja ukupnih energetske potrebe bez utjecaja na postojeći vizualni identitet. Zaključak rada tako otvara diskusiju, upućuje, ali i daje konkretne korake cjelokupnog procesa, te samim time uvodi u problem pomirenja povijesno značajnog objekta s novim potrebama i zahtjevima čovjeka prema istom, a sve u skladu s važećim direktivama, pravilnicima i normama.



SL. 8. NOVI KONCEPT SANACIJE VANJSKOG OTVORA I PRETVARANJE U AKTIVNI SUSTAV ZGRADE
FIG. 8 NEW CONCEPT OF THE REHABILITATION OF THE EXTERNAL OPENING AND TRANSFORMATION INTO AN ACTIVE SYSTEM OF THE BUILDING

LITERATURA

BIBLIOGRAPHY

1. AUF-FRANIĆ, H. (2004.), *Osnovne škole: programiranje, planiranje i projektiranje*, Golden marketing – Tehnička knjiga, Zagreb
2. BAJBUTOVIĆ, Z. (1983.), *Arhitektura školske zgrade*, Svjetlost, OOUR Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Sarajevo
3. BRADIĆ, H. (2013.), *Proces projektiranja energetske učinkovitih stambenih obiteljskih zgrada*, „Gradevinar”, 8: 753-765, Zagreb
4. BRADIĆ, H. (2014.), *Transformacija arhitekture kao posljedica zahtjeva energetske učinkovitosti na primjeru postojećih zgrada za osnovno obrazovanje*, doktorski rad, Arhitektonski fakultet, Zagreb
5. DANIJELS, K. (2009.), *Tehnologija ekološkog gradjenja, Osnove i mere, Primeri i ideje*, NK Jasen, Beograd, ISBN: 978-85337-66-6
6. DONIA, R.J. (2006.), *Sarajevo: Biografija grada*, Institut za istoriju, Sarajevo
7. HADROVIĆ, A. (2008.), *Bio klimatska arhitektura, traženje puta za Raj*, Arhitektonski fakultet, Sarajevo, ISBN: 978-9958-691-05-8
8. HADROVIĆ, A. (2010.), *Arhitektonska fizika – drugo izdanje*, Arhitektonski fakultet Sarajevo, Sarajevo, ISBN: 978-9958-691-20-1
9. HEGGER, M.; FUCHS, M.; STARK, T.; ZEUMER, M. (2008.), *Energy Manual, sustainable architecture*, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co KG, 2008., München, ISBN: 978-3-7643-8830-0
10. KASUMOVIĆ, I. (1999.), *Školstvo i obrazovanje u Bosanskom ejaletu za vrijeme osmanske uprave*, Islamski kulturni centar, Mostar, ISBN: 9958-804-06-9
11. KRZOVIC, I. (2004.), *Arhitektura Secesije u Bosni i Hercegovini*, Sarajevo Publishing, Sarajevo, ISBN: 9958-21-305-2
12. LANG, G.; PLODERL, H.; ZELGER, T.; MUSS, C.; KRAUSS, B.; OBERMAYR, C. (2004.), *Erste Passivhaus-Schulsanierung, Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber*, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien
13. MUŠTOVIĆ, F. (2005.), *Vjetroelektrane u Bosni i Hercegovini*, TKD Šahinpašić doo, Sarajevo, ISBN: 9958-41-115-6
14. VERŠIĆ, Z.; MURAJ, I.; BINIČKI, M. (2015.), *Model ugradnje najamne zgrade zagrebackog donjogradskog bloka – analiza u svrhu poboljšanja energetske učinkovitosti*, „Prostor”, 23 (2 /50/): 236-249, Zagreb
15. ZUMBAR, A.; GEORGOULI, E.; BRADIĆ, H.; ŽIĆ, J.; KESAR, L.; REVENCO, V. (2012.), *Unesco School in South-East Europe*, „Sustainable Energy Governance in Unesco Designated Sites”, International Historic Towns Conference, Dubrovnik
16. *** (2010.), *Pravilnik o energetske certifikaciji zgrada u FBiH*, „Sluzbene novine Federacije Bosne i Hercegovine”, 50, Sarajevo

IZVORI

SOURCES

INTERNETSKI IZVORI

INTERNET SOURCES

1. www.muzejsarajevo.ba
2. www.passiv.de
3. www.leed.net
4. www.mvvaic.com
5. www.toplane-sa-co.ba
6. www.sarajevogas.ba
7. www.elektroprivreda.ba
8. www.energis.ba
9. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
10. www.awea.org
11. www.ewaa.org
12. www.gwec.net
13. www.inhabitat.com
14. www.geothermal-energy.org
15. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/heatpump.html>
16. <http://www.energy.nsw.gov.au/sustainable/efficiency/cogeneration>
17. www.mountee.de,
18. www.sarajevo.ba
19. www.starigrad.ba
20. www.unfccc.int
21. www.spomenici-sa.ba
22. <http://kons.gov.ba/>

IZVORI ILUSTRACIJA

ILLUSTRATION SOURCES

- Sl. 1. H. Bradić, digitalizirana postojeća projektna dokumentacija
- Sl. 2. Google Earth (5.5.2018.)
- Sl. 3. H. Bradić (8.11.2012.)
- Sl. 4. H. Bradić (4.12.2012.)
- Sl. 5. H. Bradić, Broj snimke: IR 20121210_0086.is2 (12.12.2012., 13:09)
- Sl. 6. H. Bradić

SAŽETAK

SUMMARY

TRANSFORMATION MODELS BASED ON ENERGY EFFICIENCY REQUIREMENTS FOR THE PRIMARY SCHOOL BUILDING *SABURINA* IN SARAJEVO

Trying to establish a functional relationship between a comfortable space and its user including the environment and energy has been always one of the dominant tasks in architecture. Nowadays, it is an increasingly topical issue in all segments of architectural work and science. Today efforts are directed towards the design of comfortable and quality indoor spaces with as little energy consumption as possible needed to achieve this comfort. Uncontrolled use of the existing energy resources, increased energy needs and CO₂ emission, climate changes, rising costs of energy products, population growth on the planet etc. are issues that require a complex approach to finding a suitable future solution for sustainable and comfortable life in an architectural space. The first theoretical ideas about a limited amount of energy raw materials appeared in the early 20th century, i.e. in 1912. Karl Schmidt spoke about limited annual energy consumption in 1921 in the Haleran development near Dresden. New solutions were sought in order to assure sustainable development and quality conditions of living both indoors and outdoors.

The existing buildings are partly responsible for the situation described above. Inadequate construction in terms of insufficient energy treatment of the skin and the indoor space, leads to energy losses in winter and overheating in summer periods. Such conditions do not meet the requirements of energy self-sustainability, co-existence of the building and its environment, and healthy living. The architecture aimed at more efficient use of energy depends on multiple factors: energy resources of the environment (sun, wind, soil, sea, etc.), the potential use of renewable energy sources, economic conditions of the society, geographic position, etc. Such an approach to architecture can be considered an ecologically-conscious design whose goal is a more efficient energy use without compromising the user's comfort and needs. Therefore,

this approach needs to be a good example of energy use as well as the relationship between man, architecture, and environment. Each rehabilitation project requires an energy efficiency study and a cost-effective analysis.

The Primary School building *Saburina* is selected to exemplify the entire process of analyzing and modelling. The building, built in 1926, is an important architectural project from a historical, cultural, and architectural point of view. It is obligatory to consult the Institute for the Protection of Cultural Monument in Sarajevo in case any intervention or alteration is needed. One of the reasons why this building was selected lies in the fact that each change begins with small steps. It is important to develop awareness of rational energy use at an early age so that the new generations may become more energy and ecology conscious. The primary school *Saburina* is one of the 46 public primary schools in Sarajevo. It is situated on a site suitable for energy transformations. The school itself has a tradition of over 90 years in educating local people. Its ornamented facade, interesting architectural form, and specific external openings on the facade are special features interesting for this research. Another challenge was the fact that primary schools have special requirements that need to be met in case of any alteration or transformation (hygienic-technical requirements).

Input data for this research were:

1. Physics of the building (indoor temperature, humidity, air quality measurable by freshness, brightness, building skin material, etc.),
2. Location, position in the urban fabric, orientation and volumetric relationship of the building with its natural and social surroundings,
3. Historical significance of the building in relation to other buildings built in the same period (form, materials used, and aesthetic value of its architectural form),
4. The existing condition of the building skin,

5. Materials used for the skin, the real U-value and the relationship between opaque and transparent planes.

Modelling of the existing building is shown here. It is compared with two models with different targeted results of energy savings and their impact on the existing architectural expression. A precise boundary has been defined concerning the extent to which the entire process leaves the original architectural appearance of the facade visually intact and when the questions of acceptability or unacceptability open up.

The building skin, which is a boundary between the heated and unheated space, is a vital element for a building since it protects the indoor space from external influences. A detailed analysis is therefore needed, including: calculation of heat transfer, water vapor, and thermal stability of the building in summer. This leads to its inevitable transformation and redesign including its adaptation to new functional requirements. With new technological solutions in the context of the building skin material, the structures that have to meet new functional and aesthetic requirements, are increasingly complex. The research results have defined four key standpoints as a basis for the analysis and redesign of the existing buildings for primary education. They may also serve as guidelines in search of a solution for a transformation concerning the overall architectural production: transformation of the indoor space, transformation of the building skin, transformation of the relationship between the building and its environment, transformation of visual identity. The concluding remarks suggest when the transformation of the existing architecture strongly influences the visual identity of the building leading to a series of questions regarding the extent to which it is possible to undertake some interventions on the building skin and thus determine the extent of the changes of the buildings and their visual identity.

BIOGRAFIJE

BIOGRAPHIES

Dr.sc. **HARIS BRADIĆ**, bio je docent na Katedri za arhitektonske konstrukcije i tehnologiju građenja pri Univerzitetu u Sarajevu, Arhitektonski fakultet (do 1.10.2018.). Doktorirao je 2014. na Arhitektonskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Autor je vecega broja znanstvenih i stručnih radova, kao i arhitektonskih objekata, te osnivač arhitektonskog studija *Neufeld&BrdicArchitecture* u Sarajevu.

Dr.sc. **ZORAN VERŠIĆ**, izvanredni je profesor na Katedri za arhitektonske konstrukcije i zgradarstvo te predstojnik Zavoda za zgradarstvo i fiziku zgrada Arhitektonskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Voditelj je više znanstvenih projekata s temom energetske učinkovitosti u zgradarstvu.

HARIS BRADIĆ, Ph.D., until the 1st October 2018 worked as Assistant Professor in the Department of Architectural Structures and Building Technology at the Faculty of Architecture, University of Sarajevo. He received his Ph.D. in 2014 from the Faculty of Architecture, University of Zagreb. He is the founder of the architectural practice *Neufeld & Bradic Architecture* in Sarajevo.

ZORAN VERŠIĆ, Ph.D. Associate Professor, head of the Institute for Building Construction and Building Physics at the Faculty of Architecture, University of Zagreb. He is the head of many scientific research projects focused on energy efficiency in Building Construction.

