

Energetski jaz u potrošnji toplinske energije školskih zgrada u regiji sjever Federacije BiH

Dragan Katić¹, Hrvoje Krstić²

¹ Sveučilište u Mostaru, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Mostar, BiH

² Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet, Osijek, Hrvatska
dragan.katic@fgag.sum.ba, hrvoje.krstic@gfos.hr

Sažetak—U ovom radu se prikazuju rezultati istraživanja energetskog jaza ili razlike između stvarne i izračunate potrošnje toplinske energije za postojeće stanje školskih zgrada (osnovne i srednje škole) u regiji sjever Federacije Bosne i Hercegovine (RS FBiH). Istraživanje je provedeno prikupljanjem podataka iz dokumenata detaljnih energetskih audita na uzorku od 138 školskih zgrada u RS FBiH i dio je šireg istraživanja čija je svrha analiza energetskih karakteristika školskih zgrada u FBiH i određivanje njihove povezanosti sa troškovima toplinske energije kroz razvoj novih modela koji omogućavaju jednostavniju i bržu procjenu troškova toplinske energije. Rezultati analize potrošnje isporučene toplinske energije za grijanje pokazuju kako stvarna potrošnja iznosi 64% od proračunski potrebne i ukazuje na energetski jaz ili odstupanje između stvarnih i proračunskih (izračunatih) vrijednosti potrošnje toplinske energije.

Ključne riječi—energetske karakteristike; energetski jaz; isporučena toplinska energija za grijanje; detaljni energetski audit;

I. UVOD

Da bi se procijenile energetske karakteristike (engl. Energy Performance) zgrada, potrebno je usporediti izračunate ili izmjerene performanse zgrade s nekom referentnom vrijednošću ili okvirom (dopuštenom vrijednošću sukladno važećim propisima). Te vrijednosti mogu predstavljati karakteristike građevinskih dijelova ovojnice zgrada (poput U-vrijednosti) ili potrošnje energije pojedinih sustava zgrada [1]. Problem ocjene energetskih karakteristika zgrada može se promatrati kroz dva glavna pristupa, ocjenu potreba i ocjenu stvarne potrošnje. Potrebe se mogu definirati kao proračun koji se temelji na energiji kroz energetski model zgrade. Stvarne potrebe povezane su sa svakodnevnom uporabom i korištenjem zgrade [2]. Ocjena energetskih karakteristika zgrade je mjerilo kvalitete zgrade u odnosu na energetske efikasnost. Što je niži energetski razred to je zgrada lošija u smislu postignutih toplinskih karakteristika, ali isto tako veća je prilika za smanjenje emisije ugljika i poboljšanje energetskih karakteristika zgrade. Međutim, ocjena ne daje informacije o tome kako zgrada funkcionira u stvarnim uvjetima uporabe jer je energetski razred određen prema standardiziranim uvjetima korištenja zgrade i proračunskim vrijednostima potrošnje energije [3].

Način korištenja zgrade, ponašanje korisnika u smislu režima rada sustava grijanja zgrade i njegovih postavki i drugi čimbenici utječu na to da dolazi do značajnih razlika između stvarne potrošnje toplinske energije i očekivane ili izračunate sukladno važećim propisima i standardima.

Energetski jaz (engl. Energy Performance Gap) se definira kao razlika između stvarne (izmjerene) potrošnje energije i očekivane (izračunate) potrošnje energije [4]. Stvarna potrošnja energije može biti niža ili viša od izračunate potrošnje. Glavni čimbenici koji doprinose pojavi energetskog jaza su neuzimanje u obzir način ponašanja korisnika i aproksimacije koje se provode prilikom izrade modela za izračun energetskih karakteristika. U literaturi se energetski jaz izračunava kao razlika u potrošnji stvarne i izračunate energije u odnosu na izračunatu potrošnju energije [5].

Na energetski jaz između stvarne i izračunate potrošnje toplinske energije upućuje i niz istraživanja diljem svijeta i najvećim dijelom ukazuju na veću potrošnju stvarne od izračunate. Međutim, provedena istraživanja rijetko su se fokusirala na obrazovne zgrade. Van Dronkelaara i ostali utvrdili su da je veličina razlike u odstupanju + 34%, uz standardno odstupanje od 55% na temelju analize 62 zgrade. Isto istraživanje ukazuje na prosječni energetski jaz od 67 % za škole i za zgrade sveučilišta. Ovaj rad utvrđuje da su dominantni uzroci odstupanja specifična nesigurnost u modeliranju, ponašanje korisnika, i loša operativna praksa [1]. Istraživanje provedeno u Ujedinjenim Arapskim Emiratima pokazalo je da stvarna potrošnja energije u školama može biti veća za 60-70 % od izračunate, a do 85 % veća za sveučilišne zgrade [6]. Istraživanje provedeno na 32 sveučilišne zgrade u Španjolskoj pokazalo je da je stvarna potrošnja energije za oko 30 % veća od one prikazane u energetskim certifikatima [7]. Istraživanje 15 školskih zgrada u UK pokazuje kako postoji značajan jaz između proračunskih i stvarnih energetskih karakteristika zgrada, uglavnom zbog nedostatka razumijevanja čimbenika koji utječu na potrošnju energije. Čimbenici koji prema ovom istraživanju imaju najveći utjecaj na jaz ili odstupanje u potrošnji energije su pojednostavljeni modeli proračuna, promjene između projektirane i izgrađene zgrade, korisnici (imaju veliki utjecaj na energetske karakteristike zgrade jer kontroliraju unutarnju temperaturu, ventilaciju, rasvjetu, opremu i toplu vodu), uporaba, održavanje i kontrola zgrade [8]. Istraživanje provedeno na pet srednjih škola u Engleskoj koje su trebale biti zgrade s niskom potrošnjom energije je pokazalo da 80% tih zgrada koristi više energije nego što se očekivalo [9]. Prema podacima Instituta za energiju u UK iz 2013. godine pokazuje se kako je stvarna potrošnja toplinske energije u školskim zgradama za 48% veća od proračunski potrebne toplinske energije [10].

Iz pregleda literature može se zaključiti da je stvarna potrošnja energije potrošnja veća od proračunske uz pozitivan energetski jaz u rasponu od 60 % do 85 %.

Među svim javnim zgradama, zbog svoje obrazovne svrhe, školske zgrade imaju veliku društvenu važnost. Stoga su energetske karakteristike ovih zgrada od velikog značaja, zajedno s odgovarajućim razinama kvalitete unutarnjeg okoliša [11]. Toplinska udobnost važan je preduvjet u školama. Kada se postigne toplinsko zadovoljstvo korisnika zgrade, kaže se da je postignuta toplinska udobnost [12].

U ovom radu prikazani su rezultati istraživanja energetske karakteristike za postojeće stanje školskih zgrada (osnovne i srednje škole) u regiji sjever Federacije Bosne i Hercegovine (RS FBiH), koja predstavlja kontinentalni dio BiH, i koje se odnose na usporedbu stvarne i izračunate potrošnje isporučene toplinske energije. Istraživanje je provedeno prikupljanjem podataka iz dokumenata detaljnih energetske audita (DEA) na uzorku od 138 školskih zgrada u RS FBiH i dio je šireg istraživanja čija je svrha analiza energetske karakteristike školskih zgrada u FBiH i određivanje njihove povezanosti sa troškovima toplinske energije kroz razvoj novih modela koji omogućavaju jednostavniju i bržu procjenu troškova toplinske energije.

II. STATISTIČKI UZORAK ŠKOLSKIH ZGRADA U FBiH

Prema dokumentu Tipologija javnih zgrada u Bosni i Hercegovini (TJZ BiH) najveći broj zgrada u Federaciji BiH (FBiH) se odnosi na zgrade namijenjene za administrativne djelatnosti (zgrade sa uredskim prostorom) sa udjelom od 35,7%, zatim slijede zgrade namijenjene za obrazovanje (osnovne i srednje škole, fakulteti i druge obrazovne institucije) sa udjelom od 32,9%. U odnosu na korisnu površinu (A_k) najveća korisna površina se odnosi na zgrade namijenjene za obrazovanje sa udjelom od 33,5% a zatim slijede zgrade za administrativne djelatnosti sa udjelom od 27,7% [13].

U dokumentu TJZ BiH izvršena je klasifikacija i sistematizacija svih javnih zgrada u BiH u ukupno 42 tipa, tj. 6 razdoblja gradnje i 7 sektora namjene. Također je izvršena podjela u klimatske regije sjever (skraćenica RS FBiH) koju karakterizira kontinentalna klima i regiju jug (skraćenica RJ FBiH) koju karakterizira mediteranska i submediteranska klima. Ukupan broj zgrada za obrazovanje u FBiH iznosi 1.455, od čega u klimatskoj regiji sjever (RS) 1.192 ili 81,9% a u klimatskoj regiji jug (RJ) 263 ili 18,1%.

Kako školske zgrade imaju veliki društveni značaj, u razdoblju nakon 2010 godine najveći broj pokrenutih aktivnosti (izrada detaljnih energetske audita) i provođenja mjera energetske efikasnosti (toplinsko izoliranje ovojnice zgrade) u javnom sektoru u FBiH provedeno je nad zgradama namijenjenim za obrazovanje u FBiH.

Za ovo istraživanje korištena je strategija istraživanja prikupljanjem podataka iz dokumenata detaljnih energetske audita u cilju dobivanja reprezentativnih i pouzdanih podataka. Detaljni energetski pregled ili audit (DEA) je dokumentirani postupak koji se provodi u cilju utvrđivanja energetske karakteristike objekta i stupnja ispunjenosti tih karakteristika u odnosu na zahtjeve propisane posebnim propisima i sadrži

prijedlog mjera za ekonomski povoljno poboljšanje energetske karakteristika [14].

Postupak provedbe detaljnog energetske pregleda zgrade rezultira dokumentom koji između ostalog da sadrži veliki broj podataka o građevinskim karakteristikama zgrade u smislu toplinske zaštite ovojnice zgrade, karakteristikama instaliranih sustava klimatizacije, grijanja i hlađenja i ventilacije i podataka o potrošnji energije.

Za ovo istraživanje prikupljeno je 138 dokumenata DEA školskih zgrada u RS FBiH koji predstavljaju bazu za ovo istraživanje. Iz DEA su prikupljeni i selektirani podatci o stvarnoj potrošnji isporučene toplinske energije za grijanje i podatci o izračunatoj (proračunskoj) vrijednosti isporučene toplinske energije za grijanje. Statistički skup ili populaciju predstavljaju školske zgrade u RS FBiH, čiji su opseg i osnovne karakteristike definirane u dokumentu TJZ BiH, a prikupljeni DEA predstavljaju osnovni statistički uzorak.

Udio broja zgrada iz ovog uzorka u odnosu na ukupan statistički skup iznosi približno 11,6% ($138/1.192$). Udio korisne površine (A_k) školskih zgrada iz uzorka u odnosu na ukupan statistički skup iznosi približno 24,3% ($343.129/1.414.831$), što površinski predstavlja približno $\frac{1}{4}$ ukupnog statističkog skupa

III. ANALIZA ENERGETSKOG JAZA U POTROŠNJI TOPLINSKE ENERGIJE ŠKOLSKIH ZGRADA U RS FBiH

Za procjenu energetske karakteristike zgrada koriste se metodologije inženjerskih proračuna, simulacija, statističkih metoda i strojnog učenja. Iako je cilj energetske procjene zgrada u pravilu povezan s pokušajima poboljšanja njihovih performansi [1] u ovom istraživanju provedena je ocjena energetske karakteristike školskih zgrada u FBiH analiziranjem potrošnje toplinske energije koristeći statističku analizu.

Za prikupljene podatke izvršena je osnovna statistička analiza (deskriptivna statistika) čija je osnovna zadaća opisati, urediti i sažeti rezultate istraživanja kako bi bili razumljiviji i pogodniji za interpretaciju i daljnju analizu. U tabeli I prikazani su korišteni statistički parametri i oznake [15].

TABELA I. STATISTIČKI PARAMETRI

Oznaka	Opis
n	Broj jedinica iz statističkog skupa
x_{min}	Najmanja vrijednost u statističkom skupu
x_{max}	Najveća vrijednost u statističkom skupu
R_x	Raspon vrijednosti u statističkom skupu
$\bar{X}$	Aritmetička sredina ili prosječna vrijednost
M_e	Medijan - srednja položajna vrijednost zadanog niza podataka
σ_x	Standardna devijacija - predstavlja prosječno odstupanje od aritmetičke sredine

Energetske karakteristike zgrade mogu se odrediti i usporedbom stvarne (izmjerene) i predviđene (izračunate) potrošnje energije. Analiza postojeće stvarne potrošnje isporučene toplinske energije izvršena je na temelju utroška

energenata za proizvodnju toplinske energije (prosječna vrijednost potrošnje za 3 godine prema podacima iz DEA).

Potrošnja toplinske energije za grijanje mjeri se kroz isporučenu energiju. Isporučena godišnja toplinska energija za grijanje ($Q_{H,del}$) prema standardu BAS EN ISO 13790:2008 predstavlja energiju koja se doprema u tehničke sustave zgrade kako bi se zadovoljile potrebe za grijanjem. Na temelju ukupne stvarne godišnje potrošnje isporučene godišnje toplinske energije za grijanje ($Q_{H,del}$) izračunata je specifična stvarna isporučena godišnja toplinska energija za grijanje u odnosu na korisnu površinu zgrade (A_k) prema sljedećem izrazu:

$$Q'_{H,del} = \frac{Q_{H,del}}{A_k} [\%]. \quad (1)$$

U tabeli II i sl. 2 prikazani su rezultati deskriptivne statistike za stvarnu specifičnu isporučenu toplinsku energiju za grijanje ($Q'_{H,del}$) školskih zgrada u RS FBiH.

Analiza postojećih karakteristika zgrada i podaci o stvarnoj potrošnji energije olakšavaju izradu modela procjene potrošnje energije [16]. Jedan od pristupa za ocjenu energetskih karakteristika zgrade jeste korištenje podataka o zgradi za izračunavanje potrošnje energije pristupom odozdo prema gore, proračunavajući potrebnu energiju, koja bi se zatim mogla usporediti sa stvarnom potrošnjom energije [31].

S obzirom na veliki broj raspoloživih podataka o poznatim toplinskim karakteristikama građevinskih dijelova ovojnice u dokumentima detaljnih energetskih audita (DEA) provjerava se da li stvarna potrošnja toplinske energije i u kojoj mjeri odgovara potrebama za predviđenu namjenu zgrade zbog čega se prvo vrši proračun ili modeliranje potrebne toplinske energije ($Q_{H,nd}$) sukladno važećim propisima ili standardima.

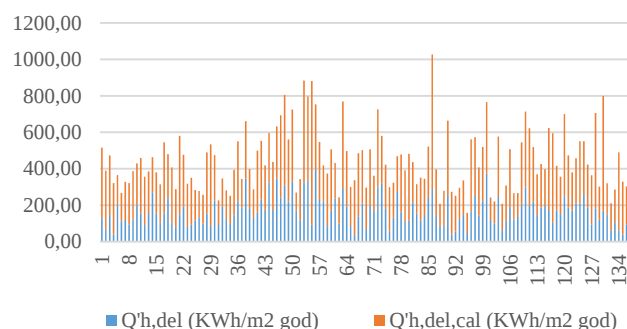
Zatim se vrši proračun isporučene toplinske energije ($Q_{H,del,cal}$) (za izračunatu toplinsku energiju dodan je indeks "cal" engl. - *calculated*) za postojeće stanje školske zgrade u FBiH uzimajući u obzir iskoristive i neiskoristive gubitke termotehničkih sustava ili pojednostavljeno uzimajući u obzir toplinske gubitke sustava kroz stupanj efikasnosti sustava. Proračunska godišnja isporučena toplinska energija za grijanje ($Q_{H,del,cal}$) uspoređuje se sa stvarnom potrošnjom isporučene energije ($Q_{H,del}$) na temelju čega se utvrđuje zadovoljava li stvarna potrošnja trenutne potrebe.

Unutarnja projektirana temperatura za školske zgrade iznosi $\Theta_{int} = 20^\circ\text{C}$. Klimatski uvjeti definirani su srednjim mjesečnim temperaturama ovisno o lokaciji zgrade i utječu godišnju potrošnju toplinske energije za grijanje. Podaci iz DEA pokazuju da za školske zgrade smještene u klimatskoj regiji "sjever" FBiH sezona grijanja prosječno traje 7 mjeseci a prosječan dnevni broj sati rada sustava grijanja iznosi oko 11,5 h. Prosječna vrijednost stupnja efikasnosti sustava grijanja iznosi 73 %, što znači da prosječno 27% gubitaka isporučene toplinske energije nastaje u sustavu grijanja [17].

Specifična proračunska isporučena godišnja toplinska energija za grijanje ($Q'_{H,del,cal}$) određena je u odnosu na korisnu površinu zgrade (A_k) prema sljedećem izrazu:

$$Q'_{H,del,cal} = \frac{Q_{H,del,cal}}{A_k} [\%]. \quad (2)$$

Na sl. 1 prikazana je usporedba stvarne i izračunate potrošnje isporučene toplinske energije za grijanje svih 138 školskih zgrada u RS FBiH.

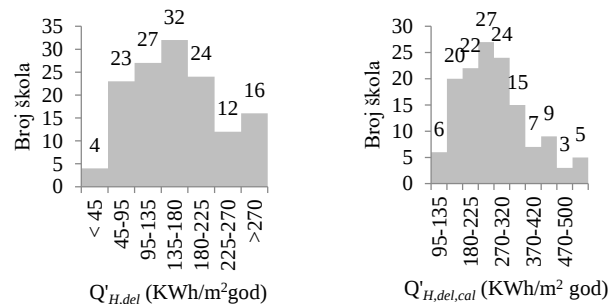


Sl. 1. Usporedba stvarne i izračunate isporučene toplinske energije školskih zgrada u RS FBiH

U tabeli II i sl. 2 prikazani su rezultati statističke analize izračunate specifične godišnje isporučene toplinske energije ($Q'_{H,del,cal}$) za grijanje.

TABELA II. DESKRIPTIVNA STATISTIKA

Varijabla	x_{min}	x_{max}	R_x	$\bar{X}$	M_e	σ_x
$Q'_{H,del}$ RS FBiH (kWh/m²god)	34,8	397,8	362,9	166,2	154,3	77,8
$Q'_{H,del,cal}$ RS FBiH (kWh/m²god)	97,2	788,2	691,0	279,2	256,5	117,0



Sl. 2. Histogrami broja školskih zgrada u RS FBiH u odnosu na $Q'_{H,del}$ i $Q'_{H,del,cal}$

Prosječna vrijednost stvarne specifične isporučene toplinske energije za grijanje ($Q'_{H,del}$) iznosi 166,2 kWh/m²god, u rasponu vrijednosti od 106,3 do 209,8 kWh/m²god nalazi se 50% školskih zgrada u RS FBiH. Prosječna vrijednost izračunate specifične isporučene toplinske energije za grijanje ($Q'_{H,del,cal}$) iznosi 279,2 kWh/m²god što je za oko 1,68 puta veće od stvarne potrošnje. U rasponu vrijednosti od 135,0 do 370,0 kWh/m²god nalazi se 108 školskih zgrada u RS FBiH ili 78,0%, a u rasponu od oko 197,0 do 327,0 kWh/m²god nalazi se 50% školskih zgrada.

Stvarna potrošnja toplinske energije osim karakteristika građevinskih dijelova ovojnice i opreme ovisi i o načinu ponašanja korisnika koja može imati značajan utjecaj na potrošnju energije [16].

Provedeno istraživanje energetske karakteristika školskih zgrada u FBiH pokazalo je da prosječne U-vrijednosti građevinskih dijelova ovojnice višestruko premašuju dopuštene vrijednosti što ukazuje na nedostatak slojeva toplinske izolacije i u najvećoj mjeri utječu na velike ukupne toplinske transmisijске gubitke i na potrošnju toplinske energije. Prosječna U - vrijednost (W/m^2K) ovojnice školskih zgrada u RS FBiH iznosi $1,87 W/m^2K$, a vrijednost koeficijenta transmisijskog gubitka topline približno je 2,3 puta veća od dopuštene vrijednosti [18].

Visoke vrijednosti specifične izračunate godišnje isporučene toplinske energije za grijanje ($Q'_{H,del,cal}$) posljedica su jako loših energetske karakteristika (nedostatak slojeva toplinske izolacije u građevinskim dijelovima ovojnice) postojećih školskih zgrada u FBiH i zastarjelih kotlovnica (veliki broj školskih zgrada se grije na ugljen i drvo s niskim stupnjem efikasnosti kotlova) koje imaju velike gubitke u distribuciji proizvedene toplinske energije.

IV. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

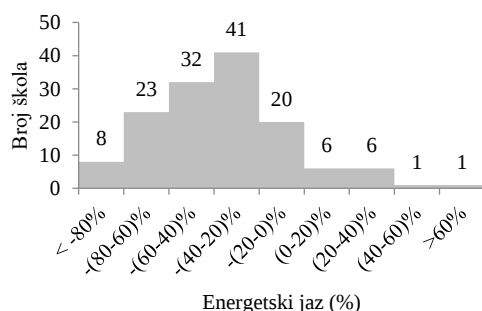
Energetski jaz ili odstupanje je izračunat kao odnos razlike stvarne i izračunate prema izračunatoj specifičnoj godišnjoj isporučenoj energiji za grijanje za postojeće stanje školskih zgrada u RS FBiH, prema sljedećem izrazu:

$$\text{energetski jaz} = \frac{Q'_{H,del} - Q'_{H,del,cal}}{Q'_{H,del,cal}} \times 100 [\%]. \quad (3)$$

U tabeli III i sl. 3 prikazani su rezultati statističke analize energetskog jaza stvarne u odnosu na izračunatu specifičnu godišnju isporučenu toplinsku energiju za grijanje.

TABELA III. DESKRIPTIVNA STATISTIKA ENERGETSKOG JAZA

Varijabla	x_{min}	x_{max}	R_x	$\bar{X}$	M_e	σ_x
Energetski jaz (%)	-0,88	0,77	1,65	-0,36	-0,36	0,29



Sl. 3. Histogrami broja školskih zgrada u RS FBiH u odnosu na energetski jaz

Rezultati istraživanja energetskog jaza pokazuju da najveći udio imaju negativna odstupanja i jedan vrlo mali dio pozitivnih odstupanja između stvarne i izračunate potrošnje energije što upućuje da školske zgrade u RS FBiH troše manje energije nego što je izračunato. Stvarna potrošnja prosječno iznosi oko 64% izračunate (računski potrebne), odnosno da je stvarna za prosječno oko 36% manja od izračunate. Ovo istraživanje pokazuje suprotno od većine drugih istraživanja u svijetu u kojima je najvećim dijelom stvarna potrošnja veća od izračunate.

Sa sl. 3 može se vidjeti kako se u rasponu vrijednosti od -80% do 0% nalazi 84% školskih zgrada, a u rasponu vrijednosti od -57% do -21% nalazi se 50% školskih zgrada u RS FBiH. U razredu od -40% do -20% je najveći broj školskih zgrada iz ovog istraživanja.

Prethodna istraživanja energetske karakteristika školskih zgrada u FBiH ukazuju na jako loše energetske karakteristike postojećih školskih zgrada u FBiH što za posljedicu ima visoke vrijednosti izračunate, odnosno potrebne toplinske energije za grijanje zbog čega nastaje energetski jaz.

Budući da najveći broj školskih zgrada u RS FBiH ima stvarnu potrošnju isporučene toplinske energije manju od izračunate može se zaključiti da u predmetnim školama nije osigurana odgovarajuća razinama toplinske udobnosti. Navedeno se može potvrditi i u komentarima korisnika školskih zgrada u FBiH preuzetih iz dokumenata DEA:

- Da je zgrada nedovoljno zagrijana, potvrdili su i zaposlenici, koji u najhladnijem razdoblju godine vode zabilješke o postignutim temperaturama u prostoriji, i koje prema njihovim tvrdnjama dostižu vrijednosti od $10^{\circ}C$, što je sa stajališta toplinske ugodnosti i namjene zgrade katastrofalno [19].
- Provedeni proračun teorijski potrebne energije za grijanje pokazuje odstupanja od stvarne potrošnje energije za zadovoljavanje potreba za toplinskom energijom, što ukazuje na činjenicu da uvjeti toplinske ugodnosti nisu zadovoljeni [20].
- Prema riječima odgovornih osoba ne ostvaruje se potrebna toplinska ugodnost, jer unutrašnja temperatura ne prelazi $20^{\circ}C$. Nedostatak finansijskih sredstava za nabavku energenta za grijanje jedan je od razloga nepostizanja toplinske ugodnosti unutar školske zgrade [21].
- Na temelju prikazanih količina stvarne potrošnje energije i izračunate potrošnje energije vidljivo je da je stvarna potrošnja toplinske energije mnogo manja te se dolazi do zaključka da u zgradi nije osigurana zadovoljavajuća razina toplinske udobnosti, tj. ugodan i kvalitetan boravak u pogledu potrebnih temperaturnih vrijednosti zagrijavanja zgrade [23].

Navodi iz DEA potvrdjuju da školske zgrade nisu dovoljno zagrijane, da se ne griju svi prostori škole (ostave, hodnici, arhiva itd.) dok se ostali prostori održavaju na nižoj temperaturi od projektne i da se ne ostvaruje potrebna toplinska ugodnost. Razlozi za navedeno leže u izrazito lošim energetske karakteristikama postojećih školskih zgrada u FBiH i nedostatku finansijskih sredstava za nabavku energenta za grijanje.

V. ZAKLJUČAK

Analiza energetske karakteristika školskih zgrada u RS FBiH pokazala je značajna negativna odstupanja između stvarne i izračunate potrošnje energije, s prosječnim energetskim jazom od -36 % što upućuje da školske zgrade u RS FBiH troše manje energije nego što je izračunato. Ovi rezultati su suprotni s drugim istraživanjima koja imaju pozitivan energetski jaz u rasponu od 60 % do 85 %.

Jako loše energetske karakteristike postojećih školskih zgrada u FBiH (nepostojanje slojeva toplinske izolacije i visoka infiltracija vanjskog zraka kroz postojeće otvore uzrokuje velike toplinske gubitke) za posljedicu imaju visoke energetske potrebe za toplinskom energijom koje se najčešće zbog nedostatka finansijskih sredstava ne mogu postići. Posljedice su "pothlađenost" koja se ogleda u nižim temperaturama prostora i negrijanju svih dijelova zgrade (posebice hodnika, školskih dvorana i sanitarnih čvorova) ili nekih učionica zbog manjeg broja učenika.

U cilju postizanja toplinske ugodnosti potrebno je provesti mjere na poboljšanju energetske efikasnosti građevinskih dijelova ovojnice, i to najčešće kroz toplinsku izolaciju vanjskih zidova, toplinsku izolaciju stropova prema tavanu, krovovima ili negrijanim prostorima i potpunu ili djelomičnu zamjenu vanjskih otvora. Smanjenjem potrošnje toplinske energije moguće je postići i primjenom mjera za poboljšanje energetske efikasnosti i termotehničkih sustava grijanja. Navedenim mjerama će se smanjiti energetska jaz, jer će se smanjiti energetske potrebe, odnosno proračunski potrebna energija. Navedene mjere na poboljšanju energetske efikasnosti direktno utječu i na smanjenje utjecaja na okoliš i smanjenje emisije štetnih plinova.

LITERATURA

- [1] E. H. Borgstein, R. Lamberts, and J. L. M. Hensen, "Evaluating energy performance in non-domestic buildings: A review," *Energy and Buildings*, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.018>
- [2] C. F. Bandera, and G. R. Ruiz, "Towards a New Generation of Building Envelope Calibration," *Energies*, vol. 10, 2017. 10.3390/en10122102
- [3] Á. L. León-Rodríguez, R. Suárez, P. Bustamante *et al.*, "Design and Performance of Test Cells as an Energy Evaluation Model of Facades in a Mediterranean Building Area," *Energies*, vol. 10, 2017. doi:10.3390/en10111816
- [4] P. De Wilde, The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation, *Automation in Construction* (2014), 41 p. 40-49 <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.009>
- [5] S. Cozza, J. Chambers, M.K. Patel, Measuring the thermal energy performance gap of labelled residential buildings in Switzerland, *Energy Policy* (2020), 137 p. 111085 <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111085>
- [6] Y.K. Kim, L. Bande, K.A. Tabet Aoul, H. Altan, Dynamic energy performance gap analysis of a university building: Case studies at UAE university campus, UAE, *Sustainability* (2020), 13(1) p. 120 <https://doi.org/10.3390/su13010120>
- [7] M. Herrando, D. Cambra, M. Navarro, L. de la Cruz, G. Millán, I. Zabalza, Energy Performance Certification of Faculty Buildings in Spain: The gap between estimated and real energy consumption, *Energy Conversion and Management* (2016), 125 p. 141-153 <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.04.037>
- [8] C. Demanuele, T. Tweddell, and M. Davies, "Bridging the gap between predicted and actual energy performance in schools," in *World Renewable Energy Congress XI*, Abu Dhabi, UAE, 2010.
- [9] E. Burman, D. Mumovic, and J. Kimpian, "Towards measurement and verification of energy performance under the framework of the European directive for energy performance of buildings," *Energy*, vol. 77, pp. 153-163, 2014.
- [10] "Summary of Audits Performed on CarbonBuzz by the UCL Energy Institute," U. E. Institute, ed., 2013.
- [11] D. R. Luísa Dias Pereira, Stefano Paolo Corgnati, Manuel Gameiroda Silva, "Energy consumption in schools – A review paper," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 40, pp. 911-922, 2014, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.010>
- [12] F. AlFaris, A. Juaidi, and F. Manzano-Agugliaro, "Improvement of efficiency through an energy management program as a sustainable practice in schools," *Journal of Cleaner Production*, vol. 135, pp. 794-805, 2016.
- [13] M. Nišandžić, *Tipologija javnih zgrada u Bosni i Hercegovini*, Razvojni program Ujedinjenih nacija (UNDP) u Bosni i Hercegovini, 2018.
- [14] U. Desideri, D. Leonardi, L. Arcioni *et al.*, "European project EducaRUE: An example of energy efficiency paths in educational buildings," *Applied Energy*, vol. 97, pp. 384-395, 2012, doi: 10.1016/j.apenergy.2012.02.009.
- [15] M. Papić, *Primijenjena statistika u MS Excelu za ekonomiste, znanstvenike i neznanke*, Zoro d.o.o., Zagreb, 2005.
- [16] M. Aksoezen, M. Daniel, U. Hassler *et al.*, "Building age as an indicator for energy consumption," *Energy and Buildings*, vol. 87, pp. 74-86, 2015.
- [17] Katić, D "Modeli procjene troškova toplinske energije školskih zgrada na području Federacije Bosne i Hercegovine," Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Osijek, 2022.
- [18] Katić, D.; Krstić, H.; Marenjak, S. Energy Performance of School Buildings by Construction Periods in Federation of Bosnia and Herzegovina. *Buildings* 2021, 11, 42. <https://doi.org/10.3390/buildings11020042>
- [19] "Detaljni energetska pregled Javna ustanova O. Š. "Fahrudin Fahro Baščelija" Goražde, Ceteor, Sarajevo," 2013.
- [20] "Izveštaj o detaljnom energetskom pregledu JU OŠ „Mirsad Prnjavorac“ u Vogošći, Mašinski fakultet, Sarajevo," 2016.
- [21] "Detaljni energetska pregled Javna ustanova O. Š. "Musa Ćazim Ćatić" Kladanj, Ceteor, Sarajevo," 2015.
- [22] "Detaljni energetska pregled O. Š. "Todorovo" Velika Kladuša, Zagrebinspekt, Mostar," 2016.

ABSTRACT

This paper presents the results of research of the energy gap or difference between actual and calculated energy consumption for space heating for the current state of school buildings (primary and secondary schools) located in the north region of the Federation of Bosnia and Herzegovina (NR FBiH). The research was conducted by collecting data from detailed energy audit documents on a sample of 138 school buildings in the NR FBiH and is part of a broader study aimed at analyzing the energy performance of school buildings in the FBiH and determining their relationship to heating energy costs through the development of new models faster estimation of heating energy costs. The analysis of the delivered energy for space heating show that the actual consumption is 64% of the calculated and indicates an energy gap between the actual and predicted (calculated) values of energy consumption for heating.

ENERGY GAP IN ENERGY CONSUMPTION FOR HEATING OF SCHOOL BUILDINGS IN THE NORTHERN REGION OF THE FEDERATION OF BOSNIA AND HERZEGOVINA

Dragan Katić, Hrvoje Krstić