

Potrošnja toplinske energije školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

Dragan Katić

Sveučilište u Mostaru, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, dr. sc.,
dragan.katic@fgag.sum.ba

Hrvoje Krstić

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet,
prof. dr. sc., hrvoje.krstic@gfos.hr

Sažetak: U ovom radu se prikazuju rezultati istraživanja energetske karakteristike koje se odnose na potrošnju toplinske energije školskih zgrada (osnovne i srednje škole) u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine (RJ FBiH). Istraživanje je provedeno prikupljanjem podataka iz dokumenata detaljnih energetske pregleda na uzorku od 47 školskih zgrada u RJ 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. Rezultati provedenog istraživanja ukazuju na loše energetske karakteristike postojećih školskih zgrada u RJ FBiH. Analiza potrošnje isporučene toplinske energije za grijanje pokazala je kako stvarna potrošnja iznosi 67% od proračunski potrebne i ukazuje na energetske jaz (*gap*) ili odstupanje između stvarnih i proračunskih vrijednosti potrošnje toplinske energije. Smanjenje potrošnje toplinske energije moguće je postići primjenom mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti.

Ključne riječi: energetske karakteristike školskih zgrada, potrošnja toplinske energije, detaljni energetski pregled, energetski jaz

Energy consumption for heating of school buildings in the south region of the Federation of Bosnia and Herzegovina

Abstract: This paper presents the results of research on energy performance related to the energy consumption for space heating of school buildings (primary and secondary schools) located in the south region of the Federation of Bosnia and Herzegovina (SR FBiH). The research was conducted by collecting data from detailed energy audit documents on a sample of 47 school buildings in the SR 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 for faster estimation of heating energy costs. The results of the research indicate poor energy performance of existing school buildings in the SR FBiH. The analysis of the delivered energy for space heating showed that the actual consumption is 67% of the predicted and indicates an energy gap between the actual and predicted values of energy consumption for heating. Reduction of energy consumption for space heating can be achieved by applying measures to improve energy efficiency.

Key words: energy performance of school buildings, energy consumption for heating, detailed energy audits, energy gap

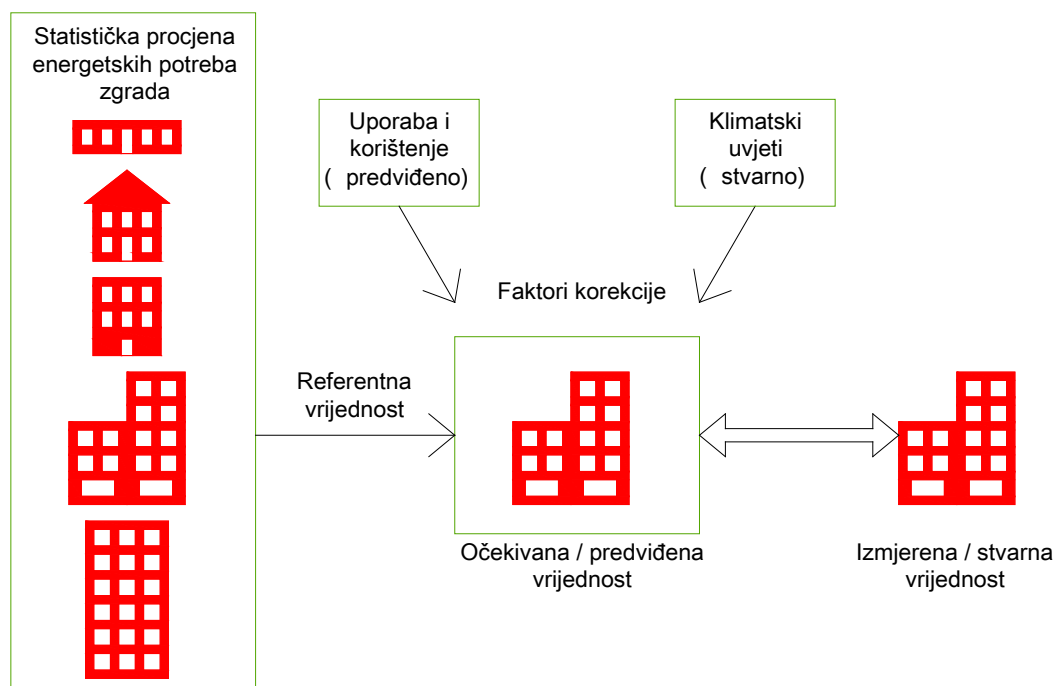
1. UVOD

1.1 Energetske karakteristike zgrada

Aktualni trendovi u EU i svijetu u građevinarstvu su usmjereni na održivu gradnju, smanjenje negativnog utjecaja građevina na okoliš i smanjenje potrošnje ukupne energije u svim fazama životnog ciklusa zgrade od planiranja i izgradnje, preko najduže faze uporabe do faze uklanjanja građevine. Potrošnja toplinske energije zgrade ovisi o njenim tehničkim karakteristikama, instaliranim uređajima i opremi i ponašanju korisnika. Porast potrošnje energije u zgradama, a time i emisije stakleničkih plinova utjecao je na poduzimanje određenih aktivnosti na poboljšanje energetske karakteristika koji su usmjereni na provođenje strategija, planova i mjera obuhvaćenih konceptom energetske učinkovitosti.

Zgrade koriste energiju kroz cjelokupan životni ciklus. Energija životnog ciklusa zgrada ima dvije značajne komponente i to uporabnu (operational) i utjelovljenu (embodied) energiju. Uporabna energija je energija koja se troši tijekom faze korištenja zgrade, i to za zagrijavanje, hlađenje, osvjetljavanje i pokretanje opreme i uređaja u zgradama. Utjelovljena energija je energija koja se koristi za vađenje materijala, proizvodnju materijala i građevinskih proizvoda, izgradnju, održavanje i rušenje zgrade, kao i sav povezani prijevoz sa navedenim aktivnostima [1]. Za ukupan životni ciklus zgrada, najveći utjecaji na okoliš su u fazi uporabe zbog potrošnje energije. Procijenjeno je da u fazi uporabe potrošnja energije predstavlja približno 80–90% ukupne potrošnje energije tijekom životnog ciklusa, dok se 10-20% troši na proizvodnju materijala, a manje od 1% kroz aktivnosti na kraju životnog vijeka zgrade [2].

Da bi se procijenile energetske karakteristike (performanse) 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 [3]. Na slici 1 prikazan je postupak ocjene energetske karakteristika zgrada.



Slika 1. Ocjena energetske karakteristika zgrada [3]

Povećanje dostupnosti velike količine podataka o energetskim karakteristikama zgrada omogućilo je razvoj metodologija koje se koriste statističkim tehnikama za predviđanje i procjenu energetskih karakteristika na temelju postojećih skupova podataka više zgrada. Većina statističkih modela koristi se nekom vrstom regresije za modeliranje i objašnjenje energetskih karakteristika zgrada [3].

Problem ocjene energetskih karakteristika zgrada može se promatrati kroz dva glavna pristupa, ocjenu potreba i ocjenu stvarne uporabne 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. Oba pristupa na isti problem gledaju iz različite, ali komplementarne perspektive [4].

Energetske karakteristike školskih zgrada zajedno s odgovarajućom kvalitetom unutarnjeg okoliša su od velikog značaja [5]. Bitno je u školama osigurati unutarnju klimu koja neće utjecati na udobnost, zdravlje ili intelektualne performanse učenika [6].

Ovo istraživanje je usmjereno na analizu energetskih karakteristika izraženih preko potrošnje isporučene toplinske energije za grijanje, u odnosu na razdoblje izgradnje, školskih zgrada smještenih u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine (RJ FBiH), kao izuzetno značajnih društvenih i javnih zgrada u kojima se odvijaju procesi obrazovanja. Školske zgrade u ovom istraživanju uključuju i školske sportske dvorane (ukoliko iste postoje uz školske objekte) koje sa stajališta funkcije i zajedničkih tehničkih sistema (grijanja, ventilacije, klimatizacije, elektroinstalacija) čine jednu cjelinu a time i zajedničke potrošnje energije.

Za procjenu energetske učinkovitosti zgrada i proračun potrošnje energije potrebni su brojni parametri kao što su toplinske karakteristike građevinskih dijelova ovojnice zgrade, transmisijski i ventilacijski gubitci, unutarnji i vanjski klimatski uvjeti. Identificiranje i kvantificiranje višestrukih koristi energetske učinkovitosti postalo je novi trend.

1.2 Pregled potrošnje toplinske energije

Pregledom literature i istraživanja vezanih za potrošnju toplinske energije nalaze se različiti načini prikazivanja potrošnje toplinske energije i različite jedinice mjerenja ovisno o zemlji i zakonskim propisima što dovodi do jedva usporedivih vrijednosti. Na europskoj razini države članice Europske unije imaju različite certifikate o energetskoj učinkovitosti koji iskazuju različite podatke na različitim skalama. Sličan se proces odvija u SAD-u i Kanadi [5].

Glavni problem velike potrošnje energije postojećih zgrada koje su izgrađene prije nekoliko desetljeća jeste u nezadovoljavanju trenutanih zahtjeva energetske učinkovitosti prema važećem zakonodavstvu. Prosječni toplinski gubici u stambenim zgradama iznose od 180-250 kWh/m²god. Značajan postotak takvih zgrada i dalje će se koristiti još mnogo godina, a ukoliko se ne obnove u smislu energetske učinkovitosti, oni će i dalje nepotrebno trošiti velike količine energije. Stoga energetska obnova tih zgrada ima veliki potencijal za smanjenje potrošnje energije, a time i smanjenje emisije CO₂ [7].

Potrošnja energije u školama se može okarakterizirati različitim pokazateljima učinkovitosti, ovisno o nekoliko parametara, kao što su namjena škole (vrtić, osnovna ili srednja škola) koja odražava različite rasporede aktivnosti i uporabe. Zatim tu su geometrijske karakteristike zgrade i razdoblje izgradnje koji utječu na potrošnju energije [8].

U nastavku dat je prikaz potrošnje toplinske energije na temelju dostupnih podataka pregledom literature sa posebnim naglaskom na školske zgrade. Prema podatcima iz 1988. godine potrošnja toplinske energije u Velikoj Britaniji za osnovne i srednje škole iznosi između 200 i 300 kWh/m² godišnje [9].

Prema Dias Pereira i ostalima godišnje vrijednosti potrošnje energije za grijanje školskih zgrada u europskim zemljama variraju od oko 52 do 197 kWh/m² [5]. Uobičajena godišnja potrošnja energije za grijanje iznosi 96 kWh/m² za Irsku [10], za Sloveniju varira od 112

Katić, D., Krstić, H.

Potrošnja toplinske energije školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

kWh/m² godišnje do 196 kWh/m² [11], 157 kWh/m² za Veliku Britaniju [12] i približno 100 kWh/m² za središnju Italiju [13].

Istraživanje provedeno na 80 školskih zgrada smještenih u središnjoj Italiji (regija Lazio) pokazuje da prosječna godišnja vrijednost specifične toplinske energije za grijanje iznosi oko 23 kWh/m³ [8]. Također, istraživanje stvarne potrošnje toplinske energije za grijanje provedeno na oko 140 zgrada namijenjenih za obrazovanje u regiji Torino pokazuje prosječnu godišnju vrijednost od 38 kWh/m³, uz pretpostavku visine etaže od 3 m, navedena vrijednost odgovara 115 kWh/m² [14].

Istraživanje provedeno nad 76 školskih zgrada smještenih u sjevernoj Italiji, u provinciji (okragu) Milano, i podacima prikupljenim iz dokumenata energetskeg pregleda pokazuje da prosječna godišnja vrijednost specifične toplinske energije za grijanje iznosi 47 kWh/m³ [15]. Usporedbom navedene vrijednosti sa istom u regiji Lazio (23 kWh/m³) dolazimo do zaključka da je specifična prosječna godišnja toplinska energija u sjevernoj Italiji oko 2 puta veća, gdje su klimatski čimbenici najvjerojatniji razlog za takav odnos.

Prosječna godišnja potrošnja primarne energije portugalskih škola u 2012. godini iznosila je 67 kWh/m², od čega se 16 kWh/m² odnosilo na upotrebu plina, a 51 kWh/m² odnosilo se na upotrebu električne energije [16].

Prema podacima iz 1995. godine prosječna godišnja potrošnja toplinske energije u grčkim školskim zgradama iznosi oko 92 kWh/m² grijanog prostora, ali u mnogim slučajevima doseže 100, pa čak i do 200 kWh/m² grijanog prostora. Prema rezultatima istraživanja iz 2007. godine u grčkim školama prosječna godišnja potrošnja energije iznosi 95 kWh/m² raspoređena između 68 kWh/m² za grijanje i 27 kWh/m² za električnu energiju [17].

U studiji izrađenoj nakon 2010. godine u Luksemburgu analizirana je potrošnja energije 68 školskih zgrada gdje prosječna godišnja potrošnja toplinske energije iznosi 93 kWh/m² dok prosječna godišnja potrošnja električne energije iznosi 32 kWh/m² [18].

Analizirajući gore navedene primjere potrošnje toplinske energije u školskim zgradama može se uočiti heterogenost u načinu prikazivanja i različitih jedinica mjerenja potrošnje energije ovisno o zemlji što onemogućuje usporedbu posebice zbog nedostatka drugih pokazatelja o energetske karakteristika zgrada (poput U-vrijednosti) ili klimatskih uvjeta na lokaciji (poput broja stupanj dana grijanja).

2. PRIKUPLJANJE PODATAKA ZA ISTRAŽIVANJE

U dokumentu tipologija javnih zgrada u Bosni i Hercegovini (TJZ BiH) izvršena je klasifikacija i sistematizacija svih javnih zgrada u BiH u ukupno 42 tipa, tj. 6 razdoblja gradnje i 7 sektora namjene. Prema namjeni zgrada definirano je 7 tipova zgrada, i to zgrade za predškolski odgoj, zgrade namijenjene za obrazovanje, zgrade u zdravstvenom sektoru, zgrade za sportske djelatnosti, zgrade za kulturne djelatnosti, zgrade za administrativne djelatnosti i zgrade za cjelodnevni boravak što uključuje bolnice i ostale zgrade namijenjene cjelodnevnom boravku.

Druga klasifikacija je izvršena u odnosu na razdoblje izgradnje, i to do 1945. godine, od 1946. do 1965. godine, od 1966. do 1973. godine, od 1974. do 1987. godine, od 1988. do 2009. godine i poslije 2010. godine. Različita razdoblja izgradnje imaju različite karakteristike građevinskih elemenata ovojnice, različite tehnologije građenja i pojavu novih građevinskih materijala. Također, tijekom vremena mijenjala se zakonska regulativa kojom su se pooštravali zahtjevi za toplinsku zaštitu [19].

Prema TJZ BiH najveći broj zgrada u FBiH se odnosi na zgrade namijenjene za administrativne djelatnosti 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

Katić, D., Krstić, H.

Potrošnja toplinske energije školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

namijenjene za obrazovanje sa udjelom od 33,5% a zatim slijede zgrade za administrativne djelatnosti sa udjelom od 27,7% [19]. S obzirom da je udio površine zgrada namijenjenih za obrazovanje u ukupnoj površini javnih zgrada FBiH veći od 33% naglašava se važnost ovog istraživanja.

U dokumentu TJZ BiH također je izvršena podjela ukupnog broja zgrada namijenjenih za obrazovanje u FBiH u klimatske regije sjever (koju karakterizira kontinentalna klima) i regiju jug (koju karakterizira mediteranska i submediteranska klima) koje se odnose na klimatološke karakteristike lokacija. Podjela je izvršena u odnosu na srednju mjesečnu temperaturu najhladnijeg mjeseca u godini i ukoliko je ona manja od 3,0 °C onda lokacija pripada regiji "sjever" (skraćenica RS FBiH), odnosno ako je srednja mjesečna temperatura najhladnijeg mjeseca veća od 3,0 °C onda lokacija pripada regiji "jug" (skraćenica RJ FBiH). U tablici 1 prikazana je raspodjela ukupnog broja zgrada namijenjenih za obrazovanje u FBiH i u odnosu klimatske regije "sjever" i "jug" i razdoblja izgradnje.

Tablica 1. Ukupan broj zgrada namijenjenih za obrazovanje u FBiH u odnosu na klimatske regije i razdoblja izgradnje [19]

ŠKOLSKE ZGRADE U FBiH	Broj zgrada u FBiH	Udio (%)	Broj zgrada u RS FBiH	Udio (%)	Broj zgrada u RJ FBiH	Udio (%)
do 1945.	109	7,5%	89	7,5%	20	7,6%
od 1946. do 1965.	498	34,2%	408	34,2%	90	34,2%
od 1966. do 1973.	250	17,2%	205	17,2%	45	17,1%
od 1974. do 1987.	343	23,6%	281	23,6%	62	23,6%
od 1988. do 2009.	212	14,6%	174	14,6%	38	14,4%
poslije 2010.	43	3,0%	35	2,9%	8	3,0%
UKUPNO:	1.455	100,0%	1.192	100,0%	263	100,0%

Iz prethodne tablice je vidljivo da je najveći broj zgrada namijenjenih za obrazovanje u FBiH izgrađen u razdoblju od 1946. do 1965. godine (34,2%), a zatim slijedi razdoblje od 1974. do 1987. godine (23,6%). U razdoblju od 1946. do 1987. godine izgrađen je najveći broj zgrada namijenjenih za obrazovanje, odnosno 1.091 škola (75%). U odnosu na klimatske regije najveći broj zgrada namijenjenih za obrazovanje smješten je u klimatskoj regiji "sjever", približno 81,9% (1.192/1.455).

Javne zgrade različitih namjena imaju i različite godišnje potrebe za toplinskom energijom između ostalog zbog različitog režima rada i uporabe. Klasifikacija javnih zgrada prema namjeni prvenstveno je određena zakonskom regulativom, i to direktivom EU 2010/31/EU o energetske karakteristika zgrada i standardom BAS EN ISO 13790 kojim se vrši proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora [19].

Osnovna pretpostavka je da identifikacija određenih ključnih parametara (razdoblje izgradnje, namjena zgrade, geometrijske karakteristike zgrade, način uporabe, karakteristike građevinskih dijelova ovojnice zgrade) omogućuje donošenje zaključaka o potrošnji energije u pojedinačnim zgradama [20].

Bosna i Hercegovina ima veliki potencijal za ostvarenje uštede energije, naročito u sektoru zgradarstva. U tom cilju prethodno je potrebno napraviti analizu postojećeg stanja stambenih i nestambenih zgrada, procjenu potrebnih investicija u energetske učinkovitost te izraditi dugoročnu strategiju za obnovu zgrada uz implementaciju Direktive 2010/31/EU [21].

Direktiva 2010/31/EU o energetske karakteristika zgrada nalaže, s obzirom da zgrade imaju učinak na dugoročnu potrošnju energije, kao i na dugačak ciklus obnove

Katić, D., Krstić, H.

Potrošnja toplinske energije školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

postojećih zgrada, nove zgrade i postojeće zgrade koje se podvrgavaju značajnoj obnovi trebale ispuniti minimalne zahtjeve energetske učinkovitosti prilagođene lokalnoj klimi [22].

U Bosni i Hercegovini zakonski okvir za energetska učinkovitost je u nadležnosti entiteta. Prethodna direktiva 2002/91/EC o energetskim karakteristikama zgrada u FBiH od 2009. godine bila je implementirana kroz Pravilnik o tehničkim zahtjevima za toplinsku zaštitu zgrada i racionalnu upotrebu energije ("Sl. novine FBiH", br. 49/09) [23]. 2017. godine stupio je na snagu Zakon o energetskoj učinkovitosti u FBiH ("Službene novine Federacije BiH", broj 22/17) [24] na temelju kojeg je donesen Pravilnik o minimalnim zahtjevima za energetskim karakteristikama zgrada ("Sl. novine FBiH", br. 81/19) [25].

Prije nego što se može izvršiti bilo koja vrsta obnove ili sanacije zgrade, potrebno je opsežno istražiti energetske karakteristike zgrade u trenutnom stanju i napraviti odgovarajuće predviđanje energetske ponašanja naknadno primjenom predviđenih mjera poboljšanja. Jedna od tema koju je predložila Europska komisija u svojoj istraživačkoj i inovacijskoj politici (Horizon 2020) su novi alati i metodologije za smanjenje jaza između predviđenih i stvarnih energetskih karakteristika zgrada [26].

Kako školske zgrade imaju veliki društveni značaj, u razdoblju od 2010 do 2018. godine, najveći broj pokrenutih aktivnosti (izrada detaljnih energetskih pregleda) i provođenja mjera energetske učinkovitosti (toplinsko izoliranje ovojnice zgrade) u javnom sektoru u FBiH provedeno je nad zgradama namijenjenim za obrazovanje u FBiH.

2.1 Podatci iz dokumenata detaljnih energetskih pregleda

Postavlja se pitanje na koji način doći do uzorka koji će biti osnova za prikupljanje podataka za istraživanje? Istraživanja pokazuju kako postojeći skupovi podataka o potrošnji energije u zgradama općenito se mogu kategorizirati prema tri glavne strategije (strategija mjerenja, strategija istraživanja i strategija simulacija) pomoću kojih se generiraju ili dobivaju uzorci podataka [27].

Za ovo istraživanje korištena je strategija istraživanja prikupljanjem podataka iz dokumenata detaljnih energetskih pregleda u cilju dobivanja reprezentativnih i pouzdanih podataka. Detaljni energetski pregled ili audit (DEA) je dokumentirani postupak koji se provodi u cilju utvrđivanja energetskih karakteristika zgrada i stupnja ispunjenosti tih svojstava u odnosu na zahtjeve propisane posebnim propisima i sadrži prijedlog mjera za ekonomski povoljno poboljšanje energetskih karakteristika zgrada. Energetska provjera ili audit glavni je alat za razumijevanje potrošnje energije u zgradama i radi se o temeljitoj analizi provedenoj na samoj zgradi u svrhu utvrđivanja stvarnih karakteristika i definiranja mogućih mjera intervencije usmjerenih na poboljšanje vanjske ovojnice i zamjenu postojećih tehnologija kako bi se smanjenja potrošnja energije i električne energije [28].

Energetske preglede provode stručne ovlaštene osobe (osobe koje su prošle program obuke i dobile ovlaštenja) prema propisanim smjernicama za izradu istih. Smjernice za provođenje energetske preglede zgrada daju zajedničku metodologiju provođenja, a osnovni je cilj utvrditi energetske karakteristike zgrade, te dati preporuke za povećanje energetske učinkovitosti. Postupak provedbe detaljnog energetske preglede 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 i troškovima energije.

Za ovo istraživanje sveukupno je prikupljeno 47 dokumenata DEA školskih zgrada u RJ FBiH prikazanih u tablici 2 koji predstavljaju bazu za ovo istraživanje. Prikupljeni su i selektirani opći podatci o lokaciji, opći i geometrijski podatci o školskim zgradama koji uključuju podatke o godini izgradnje, korisnoj površini (A_k), površini ovojnice (A) i površinama

Katić, D., Krstić, H.

Potrošnja toplinske energije školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

i energetskim karakteristikama građevinskih dijelova ovojnice. Prikupljeni su podaci o stvarnoj potrošnji isporučene toplinske energije za grijanje ($Q_{H,del}$) i podaci o proračunski potrebnoj vrijednosti isporučene ($Q_{H,del,cal}$) toplinske energije za grijanje za svaku zgradu iz uzorka.

Tablica 2. Podatci o broju zgrada i korisnim površinama (A_k) školskih zgrada u RJ FBiH prema TJZ i iz uzorka u odnosu na razdoblje izgradnje

ŠKOLSKE ZGRADE U SR FBiH	Broj zgrada u RJ FBiH prema TJZ	Broj zgrada u RJ FBiH iz uzorka	Udio (%) broja zgrada iz uzorka prema ukupnom broju zgrada TJZ	Ukupna korisna površina A_k (m^2) u RJ FBiH prema TJZ	Ukupna korisna površina A_k (m^2) u RJ FBiH iz uzorka	Udio (%) površine A_k iz uzorka prema ukupnoj površini TJZ
do 1945.	20	4	20,0%	19.282	4.626	24,0%
od 1946. do 1965.	90	13	14,4%	84.302	23.119	27,4%
od 1966. do 1973.	45	8	17,8%	63.908	12.646	19,8%
od 1974. do 1987.	62	17	27,4%	103.078	40.008	38,8%
od 1988. do 2009.	38	4	10,5%	35.503	3.820	10,8%
poslije 2010.	8	1	12,5%	5.937	4.030	67,9%
UKUPNO:	263	47	17,9%	312.010	88.249	28,3%

Statistički skup ili populaciju predstavljaju statističke jedinice, u ovom slučaju školske zgrade u RJ FBiH, čiji su opseg i osnovne karakteristike definirane u dokumentu TJZ BiH, a prikupljeni DEA predstavljaju osnovni statistički uzorak za prikupljanje podataka o obilježjima statističkog skupa ili populacije. Izvršena je osnovna statistička analiza (deskriptivna statistika) prikupljenih podataka iz uzorka.

Veličina ovog statističkog uzorka iznosi 47 školskih zgrada u regiji jug FBiH. Udio broja zgrada iz ovog uzorka u odnosu na ukupan statistički skup iznosi približno 17,9% (47/263). Udio korisne površine (A_k) iz uzorka u odnosu na ukupan statistički skup iznosi približno 28,3% (88.249/312.010), što površinski predstavlja nešto više od $\frac{1}{4}$ ukupnog statističkog skupa.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA O POTROŠNJI TOPLINSKE ENERGIJE ŠKOLSKIH ZGRADA U RJ FBiH IZ UZORKA

3.1 Analiza općih i geometrijskih karakteristika

Za procjenu energetskih karakteristika (performansi) 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 [3], u ovom istraživanju je definirana metodologija ocjene energetskih karakteristika školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka analiziranjem potrošnje toplinske energije.

Ocjena energetskih karakteristika zgrade je mjerilo kvalitete zgrade u odnosu na energetske učinkovitost. Što je lošiji 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 same zgrade. Međutim, ocjena ne daje informacije o tome kako

Katić, D., Krstić, H.

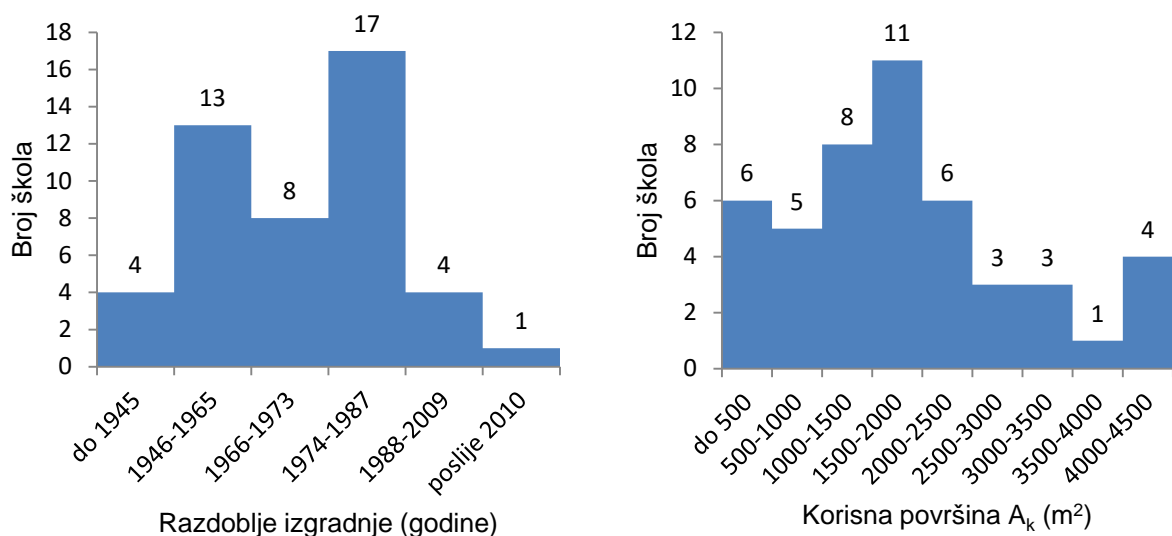
Potrošnja toplinske energije školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

zgrada funkcioniра u stvarnim uvjetima uporabe [26] jer je enerгetski razred određen prema standardiziranim uvjetima korištenja zgrade i proračunskim vrijednostima potrošnje energije.

Kako bi se procijenile enerгetske karakteristike postojećeg stanja školskih zgrada u RJ FBiH, izvršena je usporedba izmjerenih vrijednosti pojedinih karakteristika s referentnim ili dopuštenim vrijednostima. Izračunate ili izmjerene vrijednosti su preuzete iz dokumenata detaljnih enerгetskih pregleda (DEA), a referentne vrijednosti su određene ili definirane prema važećim zakonskim propisima.

Jedan od parametara za procjenu enerгetskih potreba za grijanje je broj stupanj dana grijanja (SDG) koji ovisi o klimatskim uvjetima na lokaciji zgrade. Prosječna vrijednost broja SDG za 47 školskih zgrada iz uzorka smještenih u RJ FBiH iznosi 1.759 °C·dana. Prema istraživanju [29] prosječna vrijednost broja SDG u RS FBiH iznosi 2.842 °C·dana što znači da prosječna vrijednost SDG u RJ FBiH iznosi oko 62% u odnosu na vrijednost u RS FBiH. 68% školskih zgrada iz uzorka smještenih u RJ FBiH nalazi se u zoni gdje se broj SDG kreće u rasponu od 1.500 do 1.750 °C·dana.

Na slici 2 su prikazani opći podatci o godini izgradnje i korisnoj površini (A_k) školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka. Sa slike 2 može se vidjeti kako je najveći broj analiziranih zgrada iz uzorka izgrađen u razdoblju od 1974. do 1987. godine, a zatim slijedi razdoblje od 1946. do 1965. godine. U odnosu na razdoblje izgradnje 50% školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka je izgrađeno u razdoblju od 1961. do 1980. godine a u razdoblju između 1946. i 1988. godine nalazi se 35 škola, odnosno 74,5%. Prosječna korisna površina (A_k) školskih zgrada zajedno sa školskim dvoranama iznosi 1.878,00 m².



Slika 2. Broj školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka u odnosu na razdoblje izgradnje i korisnu površinu (A_k)

Podatci o toplinskim karakteristikama građevinskih dijelova ovojnice zgrade izražavaju se preko koeficijenta prolaska topline "U" (U-vrijednost) i neophodni su za kvantificiranje gubitaka i proračun toplinske energije. Prolazak topline kroz konstrukciju ovisi o karakteristikama ugrađenih materijala, njihovoj toplinskoj provodljivosti i debljini njihovih slojeva. U-vrijednost građevinskih dijelova ovojnice zgrade igra ključnu ulogu za procjenu toplinskih karakteristika ovojnice [30].

U-vrijednosti građevinskih dijelova ovojnice i ukupne ovojnice školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka posebno su analizirane u radu [31] i prikazane u tablici 3.

Katić, D., Krstić, H.

Potrošnja toplinske energije školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

Prosječna U-vrijednost ovojnice školskih zgrada u RJ FBiH iznosi 1,88 W/m²K. Prosječne U-vrijednosti građevinskih dijelova ovojnice višestruko premašuju dopuštene vrijednosti što ukazuje na nedostatak slojeva toplinske izolacije. U-vrijednosti građevinskih dijelova ovojnice predstavljaju jedno od temeljnih obilježja ili karakternih varijabli koje utječu na potrošnju toplinske energije.

Tablica 3. U-vrijednosti građevinskih elemenata ovojnice školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka u odnosu na razdoblje izgradnje

ŠKOLSKE ZGRADE U RJ FBiH	Prosječna U-vrijednost (W/m ² K) za zidove u RJ FBiH	Prosječna U-vrijednost (W/m ² K) za podove u RJ FBiH	Prosječna U-vrijednost (W/m ² K) za stropove u RJ FBiH	Prosječna U-vrijednost (W/m ² K) za otvore u RJ FBiH	Prosječna U-vrijednost ovojnice (W/m ² K) u RJ FBiH
do 1945.	1,63	1,43	1,93	3,06	1,80
od 1946. do 1965.	1,71	2,32	2,58	2,91	2,27
od 1966. do 1973.	1,57	1,75	2,07	2,73	1,89
od 1974. do 1987.	1,61	1,93	1,68	2,69	1,83
od 1988. do 2009.	1,01	1,37	0,61	2,64	1,25
poslije 2010.	0,33	0,63	0,34	1,46	0,51
UKUPNO	1,55	1,89	1,90	2,76	1,88

Usporedba prosječne U-vrijednosti ovojnice školskih zgrada u RJ FBiH sa prosječnom U-vrijednosti ovojnice u RS FBiH koja iznosi 1,87 W/m²K (prema istraživanju [29]) pokazuje kako analizirane školske zgrade u RJ FBiH iz uzorka sa stajališta toplinskih karakteristika ovojnice imaju iste karakteristike kao zgrade u RS FBiH (jer su građeni istom tehnologijom i materijalima) bez obzira na lokaciju i klimatske regije u FBiH.

3.2 Analiza stvarne potrošnje toplinske energije

Potrošnja toplinske energije za grijanje mjeri se kroz isporučenu energiju. Isporučena toplinska energija za grijanje ($Q_{H,del}$) je izražena po nositelju energije, koja se dovodi u tehnički sustav u zgradu kroz granicu sustava kako bi se zadovoljile potrebe za grijanjem, hlađenjem, ventilacijom, potrošnom toplom vodom, rasvjetom, uređajima itd. [25]. Stvarna specifična isporučena godišnja toplinska energija za grijanje ($Q'_{H,del}$) u odnosu na korisnu površinu zgrade (A_k) određena je prema sljedećem izrazu:

$$Q'_{H,del} = \frac{Q_{H,del}}{A_k} \left[kWh / m^2 god \right] \quad (1)$$

Specifične vrijednosti potrošnje toplinske energije bolji su pokazatelji ili indikatori u odnosu na ukupne vrijednosti potrošnje energije jer se ista izražava u odnosu na korisnu površinu zgrade (A_k) što omogućava usporedbu istih.

Prosječna vrijednost stvarne specifične isporučene toplinske energije za grijanje ($Q'_{H,del}$) u RJ FBiH iznosi 85,08 kWh/m²god što je oko 51% u usporedbi sa prosječnom

Katić, D., Krstić, H.

Potrošnja toplinske energije školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

vrijednosti stvarne specifične isporučene toplinske energije za grijanje ($Q'_{H,del}$) u RS FBiH koja iznosi 166,20 kWh/m²god [29].

U tablici 4 prikazani su rezultati deskriptivne statistike za stvarnu specifičnu isporučenu toplinsku energiju za grijanje ($Q'_{H,del}$) za školske zgrade u RJ FBiH iz uzorka a na slici 3 prikazan je histogram broja školskih zgrada prema razdobljima izgradnje.

3.3 Analiza proračunske potrošnje toplinske energije

Energetske karakteristike školskih zgrada u RJ FBiH određene su usporedbom stvarne ili izmjerene i proračunske potrošnje toplinske energije. Potrebno je utvrditi odgovara li stvarna potrošnja toplinske energije i u kojoj mjeri potrebama za predviđenu namjenu zgrade zbog čega se vrši proračun ili modeliranje toplinske energije sukladno važećim propisima ili standardima. U dokumentima detaljnih energetske pregleda (DEA) vrši se proračun potrebne toplinske energije kojom se utvrđuju stvarne potrebe.

U izradi modela kojim se predviđa ili procjenjuje (proračunava) potrošnja toplinske energije korišten je pristup odozdo prema gore koji se temelji na velikoj bazi podataka i na detaljnim geometrijskim podatcima o pojedinim zgradama. Analiza postojećih karakteristika zgrada i podatci o stvarnoj potrošnji energije olakšavaju izradu modela procjene potrošnje energije [20].

U postupku proračuna prvo se vrši proračun potrebne energije za grijanje $Q_{H,nd,cal}$ (indeks "cal od calculated" kako bi se ista razlikovala od dopuštene vrijednosti) koju treba dovesti prostoru koji se grije da bi se održala željena temperatura u zadanom vremenskom razdoblju. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje ($Q_{H,nd,cal}$) proračunava se u skladu sa normom BAS EN ISO 13790, metoda proračuna po mjesecima [25].

Unutarnja projektirana temperatura za školske zgrade iznosi $\Theta_{int} = 20$ °C. Klimatski uvjeti definirani su srednjim mjesečnim temperaturama ovisno o lokaciji zgrade. Podatci iz DEA pokazuju da sezona grijanja za školske zgrade smještene u RJ FBiH prosječno traje 5 mjeseci (studeni, prosinac, siječanj, veljača i ožujak) a prosječan broj sati rada sustava grijanja dnevno iznosi oko 9,5 h.

Specifična proračunska potrebna godišnja toplinska energija za grijanje ($Q'_{H,nd,cal}$) određena je u odnosu na korisnu površinu grijanog dijela (A_k) prema slijedećem izrazu [23]:

$$Q'_{H,nd,cal} = \frac{Q_{H,nd,cal}}{A_k} [kWh / m^2 god] \quad (2)$$

U tablici 4 prikazani su rezultati deskriptivne statistike za proračunske vrijednosti specifične potrebne toplinske energije za grijanje ($Q'_{H,nd,cal}$) za školske zgrade u RJ FBiH iz uzorka. Za ovo istraživanje određeni su približni energetske razredi školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka u odnosu na stvarne klimatske uvjete i prema proračunskim vrijednostima specifične potrebne toplinske energije za grijanje ($Q'_{H,nd,cal}$) i isti su prikazani u tablici 4.

Prosječna vrijednost proračunske specifične potrebne toplinske energije za grijanje ($Q'_{H,nd,cal}$) u RJ FBiH iznosi 98,04 kWh/m²god (što predstavlja energetske razred C) što je oko 50% u usporedbi sa prosječnom vrijednosti proračunske specifične potrebne toplinske energije za grijanje ($Q'_{H,nd,cal}$) u RS FBiH koja iznosi 197,05 kWh/m²god (energetske razred E).

Zatim slijedi proračun isporučene toplinske energije ($Q_{H,del,cal}$) uzimajući u obzir toplinske gubitke sustava kroz stupanj učinkovitosti sustava. Proračunska godišnja isporučena toplinska energija za grijanje ($Q_{H,del,cal}$) predstavlja količnik proračunske godišnje potrebne toplinske energije za grijanje ($Q_{H,nd,cal}$) i ukupnog stupnja učinkovitosti sustava grijanja (η_{sys}) prema slijedećem izrazu:

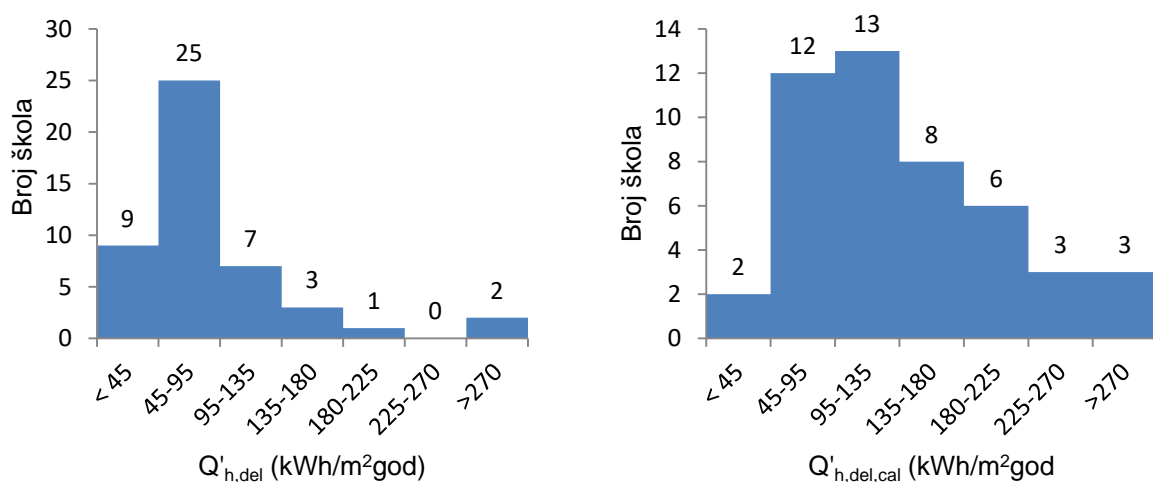
$$Q_{H,del,cal} = \frac{Q_{H,nd,cal}}{\eta_{sys}} [kWh / god] \quad (3)$$

Na temelju podataka iz DEA za školske zgrade u RJ FBiH iz uzorka prosječna vrijednost stupnja učinkovitosti sustava grijanja iznosi $\eta_{sys} = 0,75$ ili približno 75 %, što znači da prosječno 25% gubitaka isporučene toplinske energije nastaje u sustavu grijanja.

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

$$Q'_{H,del,cal} = \frac{Q_{H,del,cal}}{A_k} [kWh / m^2 god] \quad (4)$$

U tablici 4 prikazani su rezultati deskriptivne statistike za specifičnu proračunsku isporučenu toplinsku energiju za grijanje ($Q'_{H,del,cal}$) za školske zgrade u RJ FBiH iz uzorka a na slici 3 prikazan je histogram broja školskih zgrada prema razdobljima izgradnje. Prosječna vrijednost proračunske specifične isporučene toplinske energije ($Q'_{H,del,cal}$) u RJ FBiH iznosi 136,32 kWh/m²god što je oko 49% u usporedbi sa prosječnom vrijednosti proračunske specifične isporučene toplinske energije ($Q'_{H,del,cal}$) u RS FBiH koja iznosi 279,21 kWh/m²god (prema istraživanju [29]).



Slika 3. Histogrami broja školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka u odnosu na stvarnu specifičnu isporučenu toplinsku energiju za grijanje ($Q'_{H,del}$) i proračunsku specifičnu isporučenu toplinsku energiju za grijanje ($Q'_{H,del,cal}$)

Katić, D., Krstić, H.

Potrošnja toplinske energije školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

U tablici 4 dan je sumaran prikaz prosječnih stvarnih i proračunskih vrijednosti specifične godišnje toplinske energije za grijanje, energetskih razreda i usporedba stvarne i proračunske isporučene toplinske energije školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka u odnosu na razdoblja izgradnje.

Tablica 4. Podatci o prosječnim vrijednostima proračunske specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje ($Q'_{H,nd,cal}$), energetskom razredu, proračunske godišnje isporučene toplinske energije za grijanje ($Q'_{H,del,cal}$), stvarne godišnje isporučene toplinske energije za grijanje ($Q'_{H,del}$) i prosječnog odnosa stvarne i proračunske vrijednosti isporučene toplinske energije školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka u odnosu na razdoblja izgradnje

ŠKOLSKE ZGRADE U RJ FBiH	Prosječne proračunske potrebe za energijom $Q'_{h,nd,cal}$ (kWh/m ² god)	Energetski razred	Prosječna proračunska isporučena energija $Q'_{h,del,cal}$ (kWh/m ² god)	Prosječna stvarna isporučena energija $Q'_{h,del}$ (kWh/m ² god)	Prosječni odnos (%) stvarne i proračunske isporučene energije ($Q'_{h,del}$)
do 1945.	135,91	D	167,79	77,40	46%
od 1946. do 1965.	134,93	C	187,78	87,30	51%
od 1966. do 1973.	85,81	B	125,88	119,21	90%
od 1974. do 1987.	78,11	B	115,37	80,61	72%
od 1988. do 2009.	67,07	B	73,61	46,00	78%
poslije 2010.	27,59	A	32,09	16,13	50%
UKUPNO	98,04	C	136,32	85,08	67%

Stvarna potrošnja isporučene toplinske energije $Q_{H,del}$ uspoređuje sa proračunskom godišnjom ispučenom toplinskom energijom ($Q_{H,del,cal}$) na temelju čega se utvrđuje da li stvarna potrošnja zadovoljava trenutne potrebe.

Iz tablice 4 može se vidjeti da prosječan odnos (%) stvarne i proračunske isporučene toplinske energije za grijanje školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka prosječno iznosi oko 67%, odnosno da je stvarna potrošnja toplinske energije za prosječno oko 33% manja od potrebne. Navedeno upućuje da postoji razlika (*gap*) ili odstupanje između stvarnih (izmjerenih) i predviđenih (proračunskih) vrijednosti potrošnje isporučene toplinske energije.

Na temelju gore navedenog može se zaključiti kako je stvarna potrošnja toplinske energije manja od proračunski potrebne da se zadovolje uvjeti toplinske ugodnosti. Razlozi za navedeno leže u lošim toplinskim karakteristikama građevinskih dijelova ovojnice što uzrokuje velike toplinske gubitke, te uz nedostatak novčanih sredstava koje promatrane ustanove dobivaju od strane osnivača (najčešće su to jedinice lokalne uprave i samouprave) za nabavu potrebnih energenata, predstavljaju osnovne razloge za manju stvarnu potrošnju toplinske energije. 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.

Pregledom literature također se ukazuje na postojanje razlike (*gap*) ili odstupanja između predviđenih (proračunskih) i stvarnih (izmjerenih) performansi. Van Dronkelaar i ostali utvrdili su da je veličina razlike u odstupanju + 34%, uz standardno odstupanje od 55%

Katić, D., Krstić, H.

Potrošnja toplinske energije školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

na temelju analize 62 zgrade. Ovaj rad utvrđuje da su dominantni uzroci odstupanja specifična nesigurnost u modeliranju, ponašanje stanara, i loša operativna praksa [3].

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 [32]. Istraživanje 15 školskih zgrada u UK pokazuje kako postoji značajan jaz između proračunskih i stvarnih energetske 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 zgrada jer kontroliraju unutarnju temperaturu, ventilaciju, rasvjetu, opremu i toplu vodu), uporaba, održavanje i kontrola zgrade [33].

Istraživanje koje je provedeno u Sloveniji na 24 školske zgrade u razdoblju 1997. do 1999. godine, na temelju energetske pregleda, potrošnje energije i kvalitete zraka, pokazalo je da su ove zgrade visoki potrošači energije. U prosjeku ukupna godišnja potrošnja energije analiziranih školskih zgrada iznosi 192 kWh/m²god ili 54 kWh/m³god. Također utvrđeno je da su stvarne energetske potrebe ili potrošnja energije manje nego što su procijenjene ili proračunske potrebe za energijom [11].

Kako su Slovenija i Bosna i Hercegovina bili dijelovi zajedničke prethodne države sa sličnim zajedničkim graditeljskim naslijeđem, prethodno navedeno istraživanje u Sloveniji potvrđuje rezultate ovog istraživanja školskih zgrada u smislu potrošnje energije.

4. ZAKLJUČAK

Rezultati provedenog istraživanja ukazuju na loše energetske karakteristike postojećih školskih zgrada u RJ FBiH. Prosječne U vrijednosti građevinskih dijelova ovojnice višestruko premašuju dopuštene vrijednosti što utječe na potrošnju toplinske energije koja je veća od dopuštenih vrijednosti. Također, utvrđeno je da je stvarna potrošnja isporučene toplinske energije manja od proračunski potrebne da se zadovolje uvjeti toplinske ugodnosti. Razlozi za navedeno leže u nedostatku novčanih sredstava za nabavu potrebnih energenata koji uz loše energetske karakteristike građevinskih dijelova ovojnice utječu na razliku stvarno isporučene i proračunski potrebne toplinske energije.

Smanjenje potrošnje toplinske energije moguće je primjenom mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti građevinskih dijelova ovojnice (toplinska izolacija vanjskih zidova, toplinska izolacija stropova prema tavanu, krovovima ili negrijanim prostorima i zamjena vanjskih otvora) i/ili zamjenom energenta kroz poboljšanje stupnja učinkovitosti sustava grijanja. Analiza ušteda isporučene toplinske energije koje nastaju implementacijom predviđenih mjera poboljšanja energetske učinkovitosti za 47 analiziranih školskih zgrada u RJ FBiH, na temelju prikupljenih podataka iz dokumenata detaljnih energetske pregleda, pokazuje prosječnu uštedu isporučene toplinske energije u iznosu od 63% u odnosu na proračunsku potrebnu isporučenu toplinsku energiju. Također, implementacijom svih predviđenih mjera poboljšanja energetske učinkovitosti analiziranih objekata, ostvarile bi se prosječne uštede od 75 % godišnjih troškova toplinske energije u odnosu na proračunske troškove toplinske energije. Navedenim mjerama bi se osigurala toplinska ugodnost uz nižu potrošnju toplinske energije u odnosu na proračunski potrebnu.

Opisani postupak proračuna energetske karakteristika zgrada koji se odnose na potrošnju toplinske energije zahtijeva veliku količinu ulaznih podataka pa su prikladni kada je investicijsko-tehnička dokumentacija dovoljno razrađena ili prilikom izrade detaljnih energetske pregleda zgrada.

Međutim, kako bi se u inženjerskoj praksi u ranijim preliminarnim fazama izrade projektne dokumentacije (u početnim inicijalnim fazama projektiranja prilikom vrjednovanja varijantnih projektnih rješenja i donošenja investicijskih odluka) ili za potrebe upravljanja i održavanja postojećih zgrada moglo jednostavnije analizirati potrošnja i troškovi toplinske energije, potrebno je razvijati matematičke modele kojima se na temelju manjeg broja parametara ili karakteristika zgrada mogu sa dovoljnom točnošću jednostavnije i brže izvršiti proračun potrošnje i troškova toplinske energije. Istraživanja pokazuju kako su najrasprostranjeniji regresijski modeli za ocjenu energetskih performansi zgrada koji povezuju potrošnju energije s jednom ili više varijabli. Uobičajena je regresija najmanjih kvadrata koja pruža tehnički rigorozan pristup i daje linearne jednadžbe koje su statistički valjane i lako ponovljive [3].

LITERATURA

1. R. Azari, "Life Cycle Energy Consumption of Buildings; Embodied + Operational," Sustainable Construction Technologies, 2019.
2. N. Badea, and G.-V. Badea, "Life cycle analysis in refurbishment of the buildings as intervention practices in energy saving," Energy and Buildings, 2014, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.021>.
3. E. H. Borgstein, R. Lamberts, and J. L. M. Hensen, "Evaluating energy performance in non-domestic buildings: A review," Energy and Buildings, 2016, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.018>.
4. C. F. Bandera, and G. R. Ruiz, "Towards a New Generation of Building Envelope Calibration," Energies, vol. 10, 2017, DOI: 10.3390/en10122102.
5. Luísa Dias Pereira, Daniela Raimondo, Stefano Paolo Corngnati, Manuel Gameiro da 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>.
6. S. A. Ghita, and T. Catalina, "Energy efficiency versus indoor environmental quality in different Romanian countryside schools," Energy and Buildings, vol. 92, pp. 140-154, 2015, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.049>.
7. H. Krstić, and M. Teni, "Analysis of Energy Performance and Buildings Characteristics Obtained from Croatian Energy Management Information System," International Journal of Structural and Civil Engineering Research, vol. 7, no. 3, pp. 252-258, 2018, DOI: 10.18178/ijscer.7.3.252-258.
8. P. Marrone, P. Gori, F. Asdrubali et al., "Energy Benchmarking in Educational Buildings through Cluster Analysis of Energy Retrofitting," Energies, vol. 11, 2018, DOI: 10.3390/en11030649.
9. A. H. Boussabaine, R. J. Kirkham, and R. J. Grew, "Modelling total energy costs of sport centres," Facilities, vol. 17, no. 12/13, pp. 452-461, 1999, DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/02632779910293442>.
10. P. Hernandez, K. Burke, and J. O. Lewis, "Development of energy performance benchmarks and building energy ratings for non-domestic buildings: An example for Irish primary schools," Energy and Buildings, vol. 40, pp. 249-254, 2008, DOI: 10.1016/j.enbuild.2007.02.020.
11. V. Butala, and P. Novak, "Energy consumption and potential energy savings in old school buildings," Energy and Buildings, vol. 29, pp. 241-246, 1999.
12. M. Airaksinen, "Energy Use in Day Care Centers and Schools," Energies, vol. 4, pp. 998-1009, 2011, DOI: 10.3390/en4070998.
13. L. Bellia, M. Borrelli, R. F. D. Masi et al., "University building: Energy diagnosis and refurbishment design with costoptimal approach. Discussion about the effect of numerical

modelling assumptions,” *Journal of Building Engineering*, vol. 18, pp. 1-18, 2018, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.02.017>.

14. S. P. Corgnati, V. Corrado, and M. Filippi, “A method for heating consumption assessment in existing buildings: A field survey concerning 120 Italian schools,” *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 801-809, 2008, DOI: 10.1016/j.enbuild.2007.05.011.

15. G. Dall’O’, and L. Sarto, “Potential and limits to improve energy efficiency in space heating in existing school buildings in northern Italy,” *Energy and Buildings*, vol. 67, pp. 298-308, 2013, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.001>.

16. P. Lourenco, M. D. Pinheiro, and T. Heitor, “From indicators to strategies: Key Performance Strategies for sustainable energy use in Portuguese school buildings,” *Energy and Buildings*, vol. 85, pp. 212-224, 2014, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.025>.

17. A. Dimoudi, and P. Kostarela, “Energy monitoring and conservation potential in school buildings in the C’ climatic zone of Greece,” *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 289-296, 2009, DOI: 10.1016/j.renene.2008.04.025.

18. A. Thewes, S. Maas, F. Scholzen et al., “Field study on the energy consumption of school buildings in Luxembourg,” *Energy and Buildings*, vol. 68, no. 460-470, 2014, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.002>.

19. M. Nišandžić, *Tipologija javnih zgrada u Bosni i Hercegovini*, Razvojni program Ujedinjenih nacija (UNDP) u Bosni i Hercegovini, 2018.

20. 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, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.074>.

21. *Okvirna energetska strategija Bosne i Hercegovine do 2035. godine*; Vijeće ministara Bosne i Hercegovine: Sarajevo, Bosna i Hercegovina, 2019.

22. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings; The European Parliament and the Council of the European Union: Brussels, Belgium, 2010.

23. *Pravilnik o tehničkim zahtjevima za toplinsku zaštitu zgrada i racionalnu upotrebu energije* (Službene novine FBiH br. 49/09); Federalno ministarstvo prostornog uređenja, Federacija Bosne i Hercegovine: Sarajevo, 2009.

24. *Zakon o energetskej učinkovitosti u Federaciji Bosne i Hercegovine* (Službene novine FBiH br. 22/17); Federalno ministarstvo energije, rudarstva i industrije, Federacija Bosne i Hercegovine: Sarajevo, 2017.

25. *Pravilnik o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada* (Službene novine FBiH br. 18/19); Federalno ministarstvo energije, rudarstva i industrije, Federalno ministarstvo prostornog uređenja, Federacija Bosne i Hercegovine: Sarajevo, 2019.

26. 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.

27. T. Babaei, H. Abdi, C. P. Lim et al., “A study and a directory of energy consumption data sets of buildings, *Energy and Buildings*,” 2015.

28. U. Desideri, D. Leonardi, L. Arcioni et al., “European project Educa-RUE: 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.

29. D. Katić, *Doktorska disertacija “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.

30. I. Nardi, D. Paoletti, D. Ambrosini et al., “U-value assessment by infrared thermography: A comparison of different calculation methods in a Guarded Hot Box,” *Energy and Buildings*, vol. 122, pp. 211-221, 2016, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.017>.

Katić, D., Krstić, H.

Potrošnja toplinske energije školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

31. D. Katić, H. Krstić i S. Marenjak, "U vrijednosti ovojnice školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine," Elektronički Zbornik radova Građevinskog fakulteta, br. 20/2020, 2020, DOI: <https://doi.org/10.47960/2232-9080.2020.20.10.57>.
32. "Summary of Audits Performed on CarbonBuzz by the UCL Energy Institute," U. E. Institute, ed., 2013.
33. 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.