

U vrijednosti ovojnice školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

Dragan Katić

Sveučilište u Mostaru, Građevinski fakultet
mr. sc., dragan.katic@gf.sum.ba

Hrvoje Krstić

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

Saša Marenjak

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet
prof. dr. sc., sasa@pppcentar.com

Sažetak: U ovom radu prikazani su rezultati statističke analize prikupljenih podataka o karakteristikama elemenata ovojnice, kao jednog od ključnih faktora koji utječu na potrošnju i troškove uporabe energije, školskih zgrada (osnovne i srednje škole) smještenih u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine (RJ FBiH). Analizirani su udjeli površina zidova, podova, stropova i otvora u ukupnoj površini ovojnice kao i toplinske karakteristike izražene preko koeficijenta prolaska topline ili U vrijednosti. Ovo istraživanje je provedeno prikupljanjem podataka iz dokumenata detaljnih energetskih pregleda na uzorku od 47 školskih zgrada smještenih u RJ FBiH koja ima mediteransku ili submediteransku klimu. Prosječna U vrijednost ovojnice iznosi 1,88 W/m²K, a rezultati ovog istraživanja ukazuju na jako loše toplinske karakteristike postojećeg stanja pojedinih elemenata ovojnice, iskazane preko U vrijednosti, koji su nekoliko puta veće od dopuštenih vrijednosti.

Ključne riječi: školske zgrade, karakteristike ovojnice, U vrijednost, razdoblje izgradnje, statistička analiza

U-values of school building envelopes in the south region of the Federation of Bosnia and Herzegovina

Abstract: This paper presents the results of statistical analysis of collected data on the characteristics of envelope elements, as one of the key factors influencing energy consumption and costs, of school buildings (primary and secondary schools) located in the south region of the Federation of Bosnia and Herzegovina (SR FBiH). The shares of the areas of walls, floors, ceilings and openings in the total area of the envelope, as well as thermal characteristics expressed through the heat transfer coefficient or U-value, were analyzed. This research was conducted by collecting data from detailed energy audit documents on a sample of 47 school buildings located in SR FBiH, which has a Mediterranean or sub-Mediterranean climate. The average envelope U-value is 1.88 W/m²K, and the results of this study indicate very poor thermal characteristics of the existing condition of individual elements of the envelope, expressed by U-values, which are several times higher than the allowable values.

Key words: school buildings, envelope characteristics, U-value, construction period, statistical analysis

1. UVOD

Među svim javnim zgradama, zbog svoje obrazovne svrhe, školske zgrade imaju veliku društvenu odgovornost. Stoga su energetske karakteristike ovih zgrada od velike važnosti, zajedno s odgovarajućim razinama kvalitete unutarnjeg okoliša [1]. Toplinska udobnost važan je preduvjet u školama. Kada se postigne toplinsko zadovoljstvo korisnika zgrade, kaže se da je postignuta toplinska udobnost [2]. Toplinska udobnost, između ostalog, ne može se postići bez kvalitetne i zadovoljavajuće toplinske ovojnice zgrade.

Budući da djeca provode oko 25% svog vremena učeći u učionicama, školske zgrade u određenoj mjeri predstavljaju drugi dom. Od vitalne je važnosti imati unutarnju klimu koja neće utjecati na udobnost, zdravlje ili intelektualne performanse učenika. Istraživanja pokazuju da se rezultati ispitivanja djece smanjuju proporcionalno porastu pritužbi u odnosu na faktore kao što su toplinska udobnost, kvaliteta zraka u zatvorenom, vizualno i slušno okruženje [3].

U mnogim europskim zemljama obrazovne zgrade poput škola dijele mnoge slične značajke izgradnje, uporabe i održavanja kao i često obilježje velike potrošnje energije. Unatoč klimatskim razlikama u cijeloj Europi, sve školske zgrade prvenstveno su projektirane tako da udovoljavaju zimskim uvjetima pa se za smanjenje potrošnje energije najviše poduzimaju mjere na poboljšanju toplinskih svojstava postojeće ovojnice [4].

Zgrade (građevine) koriste energiju kroz cjelokupan životni ciklus. Energija koristi se za izgradnju, uporabu (korištenje), obnovu i rušenje građevina a kao neizravna energija troši se za proizvodnju materijala [5]. Za ukupan životni ciklus građevina, najveći utjecaji na okoliš najdominantniji su u fazi korištenja zbog potrošnje energije koja predstavlja približno 80–90% ukupne potrošnje energije tijekom životnog ciklusa [6].

Količina potrošene energije ovisi o tehničkim karakteristikama same zgrade (toplinskim karakteristikama elemenata ovojnice), efikasnosti instalirane opreme i uređaja, te ponašanja samih korisnika. Aktualni trendovi u građevinarstvu su usmjereni na provođenje strategija, planova i mjera obuhvaćenih konceptom energetske efikasnosti.

Europski sektor zgradarstva još uvijek nudi velike potencijale za uštedu, koji su tek površno iskorišteni. Oko 75% zgrada su energetske neučinkovite, a uz trenutnu stopu obnove od 1% godišnje trebalo bi oko stoljeća da se dekarboniziraju građevine na moderne razine s niskim udjelom ugljika [7].

Karakteristike ovojnice zgrada (temelji, krov, zidovi, vrata i prozori) i vrijeme rada sustava grijanja faktori su koji imaju najveći utjecaj na ukupnu potrošnju energije. Varijable koje također imaju utjecaj na toplinske potrebe zgrada povezane sa oblikom zgrade su indeks kompaktnosti, faktor oblika i klima [8]. Ovojnica zgrade najučinkovitiji je pokazatelj potrošnje energije koja se koristi za grijanje, hlađenje i prozračivanje zgrada. Zbog izravne interakcije s vanjskim uvjetima okoline, ovojnica zgrade definira se kao sučelje gubitka energije [4].

Od svih parametara, najvažniji pokazatelj koji se koristi za opisivanje toplinskih svojstava zgrada, a time i ukupne energetske učinkovitosti neke zgrade je koeficijent prolaska topline (U vrijednost) [9]. Istraživanja pokazuju da U vrijednost određuje gubitak topline kroz jediničnu površinu neprozirnih ili prozirnih dijelova ovojnice zgrade i da pri tome U vrijednost ovojnice zgrade treba odrediti ovisno o obliku zgrade koji se definira omjerom ukupne površine ovojnice i volumena zgrade [10].

Ovaj rad je dio šireg istraživanja usmjerenog na prikupljanje i analizu podataka o karakteristikama, potrošnji i troškovima energije koja se koristi u školskim zgradama u FBiH, kao izuzetno značajnih društvenih i javnih zgrada, te utvrđivanja ovisnosti između energetske svojstava zgrada i troškova uporabe istih. Školske zgrade u ovom istraživanju uključuju i školske sportske dvorane (ukoliko iste postoje uz školske objekte) koje sa

Katić, D., Krstić, H., Marenjak, S.

U vrijednosti ovojnice školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

stajališta funkcije i zajedničkih tehničkih sistema (grijanja, ventilacije, klimatizacije, elektroinstalacija) čine jednu cjelinu a time i zajedničke potrošnje energije.

2. PRIKUPLJANJE PODATAKA ZA ISTRAŽIVANJE

2.1 Podaci iz tipologije javnih zgrada Bosne i Hercegovine

U 2016. godini u Bosni i Hercegovini izrađena je tipologija stambenih zgrada u kojoj je izvršena sistematizacija svih stambenih zgrada u BiH, dok je izrada tipologije javnih zgrada u Bosni i Hercegovini (u daljnjem tekstu TJZ BiH) završena u 2018. godini i predstavlja klasifikaciju i sistematizaciju svih javnih zgrada u BiH. TJZ BiH sadrži matricu tipološke klasifikacije sa ukupno 42 tipa, tj. sa 6 razdoblja gradnje i 7 sektora namjene.

Prema namjeni zgrada definirano je 7 sektora/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 [11].

Druga klasifikacija je izvršena u odnosu na razdoblje izgradnje. Različita razdoblja izgradnje imaju različite karakteristike građevinskih elemenata ovojnice, različite tehnologije građenja i pojavu novih građevinskih materijala. Također, tijekom vremena mijenjala se zakonska regulativa vezana za toplinsku zaštitu kojom su se pooštravali zahtjevi što je rezultiralo promjenama s obzirom na njihovu toplinsku zaštitu. Definirana razdoblja izgradnje su 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 [11]. Za svako razdoblje u TJZ BiH dane su osnovne karakteristike zgrada koje se u ovom radu neće navoditi.

U TJZ BiH definirano je nekoliko varijabli koje na najbolji način definiraju osobine pojedinih zgrada i tipova, te se mogu smatrati karakternim varijablama. To su korisna površina zgrade (A_k), površina ovojnice (omotača) zgrade (A), zapremina grijanog zraka (V_e), faktor oblika zgrade (f_o) i prosječan koeficijent prolaska topline ovojnice (U) prikazanih u tablici 1 zajedno sa ukupnim brojem zgrada namijenjenih za obrazovanje u FBiH [11].

Prema TJZ BiH najveći broj zgrada u FBiH se odnosi na zgrade namijenjene za administrativne djelatnosti (zgrade sa uredskim prostorom iz raznih sektora) 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%.

Također je izvršena podjela ukupnog broja zgrada u FBiH u klimatske regije "sjever" i "jug" koje se odnose na klimatološke karakteristike lokacija koji kao jedan faktor imaju veliki utjecaj na potrošnju energije. 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 u regiju "sjever" (skraćena RS FBiH), odnosno ako je srednja mjesečna temperatura najhladnijeg mjeseca veća od 3,0 °C onda lokacija pripada u regiju "jug" (skraćena RJ FBiH). U odnosu na klimatske regije, najveći broj škola je smješten u klimatsku regiju "sjever", približno 81,9% (1.192/1.455), a u klimatskoj regiji "jug" približno 18,1% (263/1.455).

Katić, D., Krstić, H., Marenjak, S.

U vrijednosti ovojnice školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

Tablica 1. Broj zgrada i prosječne vrijednosti korisne površine (A_k), zapremine grijanog zraka (V_e), površine ovojnice (A), faktora oblika zgrade (f_0) i koeficijenta prolaska topline ovojnice (U) školskih zgrada u FBiH [11]

ŠKOLSKE ZGRADE U FBiH	Broj zgrada u FBiH prema TJZ	Prosječna korisna površina A_k (m^2) u FBiH	Prosječna zapremina grijanog zraka V_e (m^3) u FBiH	Prosječna površina ovojnice A (m^2) u FBiH	Prosječna vrijednost faktora oblika $f_0=A/V_e$ (m^{-1}) u FBiH	Prosječna U vrijednost ovojnice (W/m^2K) FBiH
do 1945	109	964	3.540	1.899	0,54	1,66
od 1946 do 1965	498	937	3.134	1.870	0,60	1,81
od 1966 do 1973	250	1.420	4.682	2.567	0,55	1,78
od 1974 do 1987	343	1.663	5.524	2.830	0,51	1,78
od 1988 do 2009	212	934	2.977	1.723	0,58	1,66
poslije 2010	43	742	2.426	1.486	0,61	1,66
UKUPNO:	1.455	1.187	3.950	2.185	0,55	1,70

2.2 Prikupljanje podataka iz dokumenata detaljnih energetske pregleda

U ovom radu izvršena je analiza karakteristika ovojnice školskih zgrada u RJ FBiH u odnosu na razdoblje izgradnje. Kako bi se utvrdile karakteristike elemenata ovojnice školskih zgrada postavlja se pitanje na koji način doći do vjerodostojnih i pouzdanih podataka, odnosno do uzorka koji će biti osnova za prikupljanje podataka o svojstvima članova osnovne populacije.

Istraživanja pokazuju kako postojeći skupovi podataka općenito se mogu kategorizirati prema tri glavne strategije pomoću kojih se generiraju ili dobivaju uzorci podataka [12]:

- strategija mjerenja predstavlja mjerenje stvarnih podataka
- strategija istraživanja prikuplja uzorke podataka intervjuiranjem pojedinaca i/ili iz drugih baza podataka ili izvora, te je prikladna je za kvantitativno i kvalitativno prikupljanje podataka
- strategija simulacije ekonomski je način generiranja podataka.

Za ovo istraživanje koristiti će se strategija istraživanja prikupljanjem podataka iz dokumenata detaljnih energetske pregleda u cilju dobivanja reprezentativnih i pouzdanih podataka. Detaljni energetski pregled ili audit (DEA) je dokumentirani postupak koji se provodi u cilju utvrđivanja energetske svojstava objekta i stupnja ispunjenosti tih svojstava u odnosu na zahtjeve propisane posebnim propisima i sadrži prijedlog mjera za ekonomski povoljno poboljšanje energetske svojstava objekta [13].

Energetska provjera ili audit glavni je alat za razumijevanje potrošnje energije u zgradama i radi se o temeljitoj analizi provedenoj na samoj građevini u svrhu utvrđivanja stvarnih karakteristika i definiranja mogućih mjera intervencije usmjerenih na poboljšanje vanjske ovojnice i zamjenu postojećih tehnologija kako bi se smanjenja potrošnje goriva i električne energije [14].

Energetske preglede provode stručne ovlaštene osobe (koje su prošle program obuke i dobile ovlaštenja) prema propisanim smjernicama za izradu istih. Smjernice za provođenje energetske pregleda građevina daju zajedničku metodologiju provođenja, a osnovni je cilj utvrditi energetska svojstva za nove ili postojeće objekte, te dati preporuke za povećanje energetske efikasnosti. Postupak provedbe detaljnog energetske pregleda građevine rezultira dokumentom koji između ostalog sadrži informacije o građevinskim karakteristikama ovojnice u smislu toplinske zaštite [13].

Katić, D., Krstić, H., Marenjak, S.

U vrijednosti ovojnice školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

Prilikom izrade dokumenata DEA primjenjuju se strategije mjerenja i istraživanja pa u konačnici sadrže veliki skup pouzdanih podataka. Sa stajališta ovog istraživanja dokumenti DEA sadrže ključne podatke o građevinskim i toplinskim karakteristikama ovojnice objekta.

Sveukupno je prikupljeno 47 dokumenata DEA školskih zgrada u RJ FBiH koji predstavljaju bazu za izradu ovog istraživanja. Za ovo istraživanje iz navedenih dokumenata prikupljeni su i selektirani opći i geometrijski podaci o školskim zgradama koji uključuju podatke o godini izgradnje, korisnoj površini (A_k) i površini ovojnice (A).

Prikupljeni podaci o građevinskim elementima ovojnice u trenutnom stanju uključuje podatke o pojedinačnim površinama građevinskih elemenata ovojnice i ukupnim površinama svrstanim u 4 grupe (zidovi, podovi, stropovi i otvori), te vrijednosti koeficijenata prolaska topline (U) pojedinačnih građevinskih elemenata i ukupne ovojnice.

Shodno gore navedenom ovim istraživanjem će se utvrditi vrijednosti U koeficijenata prolaska topline za postojeće stanje i usporediti iste sa dopuštenim vrijednostima prema odredbama Pravilnika o tehničkim zahtjevima za toplinsku zaštitu objekata i racionalnu upotrebu energije [15] kako bi se utvrdio stupanj ispunjenosti ili zadovoljavanja istih.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

3.1 Statistička analiza

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 (opaženih rezultata) o obilježjima statističkog skupa ili populacije. Izvršena je osnovna statistička analiza (deskriptivna statistika).

Tablica 2. Podaci deskriptivne statistike uzorka školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka

Varijabla	n	x_{\min}	x_{\max}	R_x	\bar{X}	M_e	σ_x	V
Godina izgradnje (god.)	47	1896	2014	118	1968,5	1973,0	22,02	1,1%
Korisna površina A_k (m ²)	47	83,60	4435,0	4351,4	1877,6	1724,8	1155,2	61,5%
Površina zidova RJ FBiH (m ²)	47	105,7	2420,0	2314,3	1205,6	1099,8	624,6	51,8%
Površina podova RJ FBiH (m ²)	47	100,1	3608,4	3508,3	1059,7	1041,0	677,3	63,9%
Površina stropova RJ FBiH (m ²)	47	100,1	3773,1	3673,0	1194,9	1192,0	734,9	61,5%
Površina otvora RJ FBiH (m ²)	47	22,0	1514,0	1492,0	484,9	455,4	327,8	67,6%
Površina ovojnice RJ FBiH (m ²)	47	327,9	10482,9	10155,0	3945,2	4030,3	2189,9	55,5%
U - vrijednosti zidova (W/m ² K)	47	0,25	2,73	2,47	1,55	1,60	0,54	34,5%
U - vrijednosti podova (W/m ² K)	47	0,34	4,18	3,84	1,89	1,65	1,13	59,7%
U - vrijednosti stropova (W/m ² K)	47	0,34	4,81	4,47	1,90	1,84	1,05	55,5%
U - vrijednosti otvora (W/m ² K)	47	1,41	4,29	2,88	2,76	2,91	0,65	23,6%
U - vrijednosti ovojnice (W/m ² K)	47	0,51	3,09	2,59	1,88	1,88	0,61	32,5%

Prilikom statističke analize korištene su slijedeće oznake gdje broj (n) predstavlja broj jedinica, (x_{\min}) minimalnu vrijednost, (x_{\max}) maksimalnu vrijednost, (R_x) raspon vrijednosti, (\bar{X}) prosječnu vrijednost, (M_e) medijan, (σ_x) standardna devijacija i (V) koeficijent varijacije.

Katić, D., Krstić, H., Marenjak, S.

U vrijednosti ovojnice školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

U Tablici 2 su prikazani rezultati deskriptivne statistike razmatranih varijabli o općim i geometrijskim karakteristikama školskih zgrada, te o toplinskim karakteristikama elemenata ovojnice.

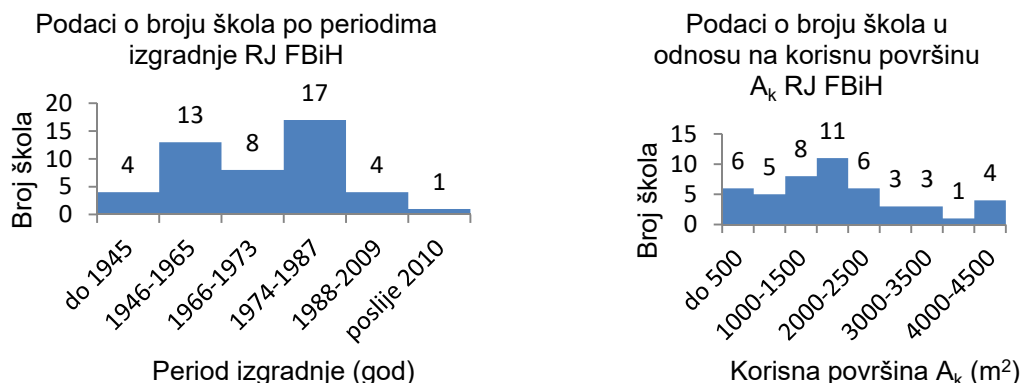
Koeficijent varijacije (V) je relativna mjera disperzije i predstavlja odnos standardne devijacije i aritmetičke sredine. Vrijednosti do 10% predstavljaju vrlo slabu varijabilnost, od 10% do 30% slabu, od 30% do 50% umjerenu, od 50% do 70% jaku a preko 70% vrlo jaku (što upućuje da razdioba nije jednolika). Manja mjera disperzije znači veću reprezentativnost srednje vrijednosti i obrnuto [16,17].

Zadaća deskriptivne statistike je da opiše, sredi i sažme rezultate istraživanja kako bi bili pregledniji, razumljiviji i pogodniji za interpretaciju i daljnju analizu [17]. Sažeti rezultati statističke analize podataka iz uzorka u ovom dijelu rada prikazani su tablično u Tablici 3 i grafički u obliku histograma na Slikama 1 i 2.

Tablica 3. Podaci 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 RJ 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) 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%

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 od 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.



Slika 1. Broj školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka u odnosu na razdoblje izgradnje i korisnu površinu (A_k)

Katić, D., Krstić, H., Marenjak, S.

U vrijednosti ovojnice školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

Sa Slike 1 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 razdoblju izgradnje poslije 2010. godine u statističkom uzorku nalazi se samo 1 škola.

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) škola zajedno sa školskim dvoranama iznosi cca 1.878,00 m² i veća je od prosječne korisne površine prema tablici 1 jer uključuje i površine školskih dvorana.

3.2 Analiza karakteristika ovojnice školskih zgrada

Neki od parametara, odnosno varijabli koji utječu na potrošnju toplinske energije i od kojih ovise troškovi su sastav konstrukcije (prvenstveno ovojnice) i način izgradnje, klimatski uvjeti i trajanje sezone grijanja, efikasnost ugrađenih sustava i instalacija za grijanje prostora, namjena građevine, broj korisnika i režim rada grijanja, energent koji se koristi za grijanje i njegova cijena [18]. Nove škole pokazuju manju potrošnju energije u usporedbi sa zgradama napravljenim za vrijeme nepostojanja energetske propisa [19].

Jedan od parametara za procjenu energetske potrebe za grijanje i hlađenje je broj stupanj dana (SD). Pretpostavlja se da su energetske potrebe za zgradu proporcionalne razlici između osnovne temperature i srednje temperature vanjskog zraka [20]. Prosječna vrijednost broja stupnja dana grijanja (SDG) u RJ FBiH iznosi 1.759 °C*dana.

Prilikom prikupljanja i selektiranja podataka iz dokumenata DEA određene su prosječne površine građevinskih elemenata ovojnice svrstane u 4 grupe, i to zidovi, podovi, stropovi i otvori. Zidovi uključuju površine svih vanjskih zidova (zidova prema vanjskom zraku), zidova prema tlu kao i zidova prema negrijanim prostorima. Podovi predstavljaju površine u kontaktu sa tlom, odnosno podove na tlu i podove prema negrijanim podrumima. Stropovi uključuju površine stropova iznad grijanog prostora prema tavanu, prema ravnim (prohodnim i neprohodnim) ili kosim krovovima, stropove iznad vanjskog zraka i stropove prema negrijanim prostorima. Otvori uključuju transparentne i netransparentne elemente na ovojnici (najčešće na zidovima) gdje spadaju prozori, vrata i krovni prozori. U tablici 4 dan je sažeti prikaz prosječnih površina građevinskih elemenata ovojnice.

Tablica 4. Podaci o prosječnim površinama građevinskih elemenata ovojnice školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka u odnosu na razdoblje izgradnje

ŠKOLSKE ZGRADE U RJ FBiH	Pros. površina zidova (m ²) u RJ FBiH	Udio (%) površine zidova u ukupnoj površini ovojnice u RJ FBiH	Pros. površina podova (m ²) u RJ FBiH	Udio (%) površine podova u ukupnoj površini ovojnice u RJ FBiH	Pros. površina stropova (m ²) u RJ FBiH	Udio (%) površine stropova u ukupnoj površini ovojnice u RJ FBiH	Pros. površina otvora (m ²) u RJ FBiH	Udio (%) površine otvora u ukupnoj površini ovojnice u RJ FBiH	Pros. površina ovojnice A (m ²) u RJ FBiH
do 1945	1.117	45,5%	541	22,0%	583	23,7%	215	8,8%	2.455
od 1946 do 1965	1.185	32,4%	905	24,8%	1.053	28,8%	510	14,0%	3.654
od 1966 do 1973	1.057	31,8%	871	26,2%	1.022	30,8%	373	11,2%	3.322
od 1974 do 1987	1.379	27,8%	1.409	28,4%	1.542	31,2%	628	12,7%	4.959
od 1988 do 2009	662	30,2%	601	27,4%	677	30,9%	250	11,4%	2.190
poslije 2010	2.236	26,4%	2.559	30,2%	3.038	35,9%	631	7,5%	8.464
UKUPNO	1.206	30,6%	1.060	26,9%	1.195	30,3%	485	12,3%	3.945

Katić, D., Krstić, H., Marenjak, S.

U vrijednosti ovojnice školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

Može se vidjeti kako udio površina zidova opada a udio površine otvora i stropova raste za novije i mlađe škole. Gledajući ukupan uzorak po cca. 30,5 % predstavljaju površine vanjskih zidova i stropova, zatim slijedi površina podova sa cca. 27 % i na kraju površina otvora sa cca. 12 %.

Prosječna površina zidova iznosi 1.206,00 m², u rasponu od 500,00 do 2.000,00 m² nalazi se 35 škola ili 74,5%, a u rasponu od 701,00 do 1.589,00 m² ili 50% površina zidova iz uzorka. Prosječna površina podova iznosi 1.060,00 m², u rasponu od 500,00 do 1.500,00 m² nalazi se 29 škola ili 61,7%. Prosječna površina stropova iznosi 1.195,00 m², u rasponu od 500,00 do 1.500,00 m² nalazi se 28 škola ili 59,6%. Prosječna površina otvora iznosi 485,00 m².

Zatim su, iz dokumenata DEA za svaki pojedinačni građevinski element ovojnice, prikupljeni podaci o karakteristikama građevinskih elemenata ovojnice što uključuje sastav konstrukcije istog (slojevi sa vrstom materijala) te vrijednosti izračunatih koeficijenata prolaska topline (U) izraženim u W/m²K.

Toplina prolazi kroz ovojnicu zgrade zbog temperaturne razlike između toplog zraka u prostoru i hladnog vanjskog zraka u smjeru niže temperature. Gubljenje topline ne može se zaustaviti, međutim, može se smanjiti poboljšavanjem toplinske izolacije vanjske ovojnice zgrade. Koeficijent transmisijskog prolaska topline U (U vrijednost) građevinskog elementa pokazuje kolika količina topline (J) prođe u vremenskoj jedinici (1 s) od izvora topline zračenjem i konvekcijom do unutrašnje plohe građevinskog elementa, zatim kondukcijom kroz građevinski element površine 1 m² do vanjske plohe i zatim zračenjem i konvekcijom od vanjske plohe u vanjski zrak ako je razlika temperatura unutarnjeg i vanjskog zraka 1K.

Prolaz topline kroz konstrukciju ovisi o ugrađenim materijalima, njihovoj toplinskoj provodljivosti i debljini njihovih slojeva. Poredak slojeva u sklopu ne utječe na prolaz topline, važan postaje kada se govori o akumulaciji topline i toplinskom odazivu zgrade na promjene toplinskih odnosa u okolini. Podaci o toplinskoj propusnosti omotača zgrade neophodni su za kvantificiranje gubitaka kroz njega. U vrijednost ovojnice zgrade igra ključnu ulogu za procjenu toplinskih svojstava konstrukcije [21].

Za procjenu i proračun U vrijednosti postojećih zgrada na raspolaganju su 4 pristupa [22]:

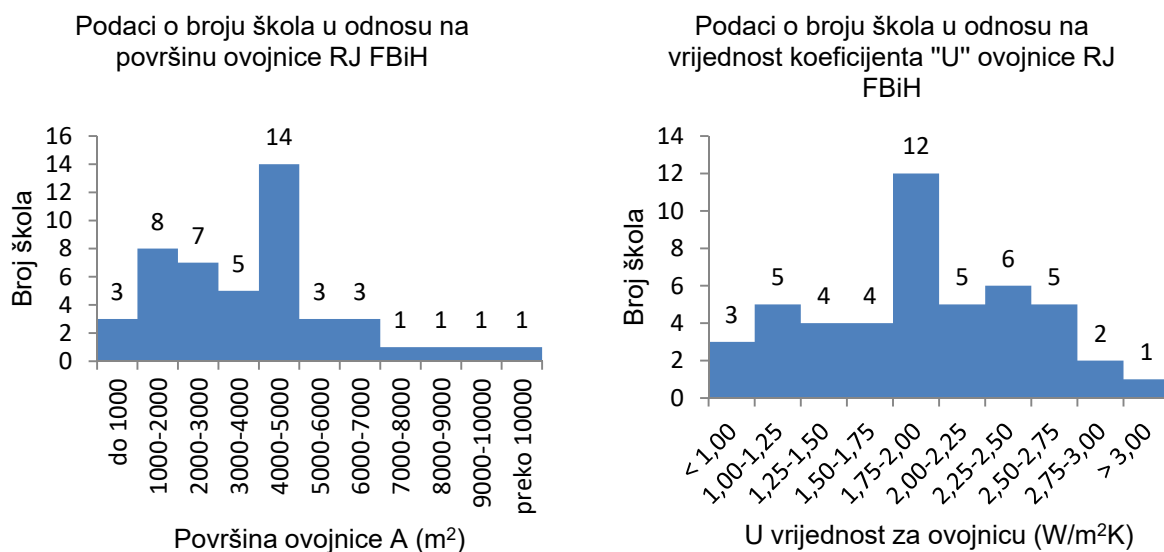
1. procjena na temelju podataka dobivenih povijesnom analizom zgrada ili analogija sa sličnim i jednakim zgradama korištenjem specifičnih tehničkih baza podataka
2. procjena na temelju nazivnih projektnih podataka
3. procjena na temelju stvarnih podataka dobivenih identifikacijom strukture (metoda uzorkovanja ili endoskop)
4. na licu mjesta pomoću mjerenja protoka topline (*Heat Flow Meters – HFM*).

Podaci o U vrijednostima pojedinih elemenata ovojnice analiziranih zgrada iz uzorka prilikom izrade DEA dobiveni su proračunima na temelju podataka dobivenih povijesnom analizom zgrada i razdoblja izgradnje.

Analizirajući tablicu 2 sa stajališta U vrijednosti (W/m²K) građevinskih elemenata ovojnice (zidova, podova, stropova i otvora) školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka može se uočiti umjerena do srednja disperzija vrijednosti za zidove, otvore i ukupnu ovojnicu dok za podove i stropove imamo jaku disperziju, odnosno razdioba nije jednolika. Razlog leži u činjenici različitih pristupa u proračunu U vrijednosti za podove i stropove što je utjecalo na disperziju navedenih podataka.

Prosječna U vrijednost za zidove iznosi 1,55 W/m²K, u rasponu vrijednosti od 1,25 do 2,00 W/m²K nalazi se 30 škola ili 63,8% škola iz uzorka. U vrijednosti za podove imaju jaku disperziju (koeficijent varijacije iznosi preko 50%), prosječna vrijednost iznosi 1,89 W/m²K. U vrijednosti za stropove također imaju jaku disperziju, prosječna vrijednost iznosi 1,90 W/m²K. U vrijednosti za otvore najveći broj škola (14) ima u rasponu od 2,50 do 3,00 W/m²K, u rasponu vrijednosti od 2,00 do 3,50 W/m²K nalaze se 36 škola ili 76,6% škola iz uzorka. Prosječna U vrijednost otvora iznosi 2,76 W/m²K.

Katić, D., Krstić, H., Marenjak, S.

U vrijednosti ovojnice školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

Slika 2. Broj školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka u odnosu na razdoblje izgradnje prema površini i U vrijednosti ovojnice

Prosječna površina ovojnice iznosi 3.945,00 m² i veća je od prosječne površine ovojnice iz tablice 1, a jedan od razloga je uključivanje površine ovojnice školskih dvorana. U rasponu površine ovojnice od 1.000,00 do 5.000,00 m² nalazi se 34 škole ili 72,3% površina ovojnic iz uzorka. Površina ovojnice ima jaku disperziju podataka. Prosječna U vrijednost ovojnice iznosi 1,88 W/m²K i nešto je veća od prosječne U vrijednosti u tablici 1. Najveći broj škola (12) ima prosječnu U vrijednost ovojnice u rasponu od 1,75 do 2,00 W/m²K. U vrijednosti ovojnice imaju slabu do umjerenu disperziju.

U tablici 5 dan je sažeti prikaz prosječnih U vrijednosti građevinskih elemenata ovojnice. Dobiveni su na temelju poznatih pojedinačnih U vrijednosti za svaki pojedinačni građevinski element ovojnice i udjela pojedinačnih površina u ukupnoj površini pojedine grupe. Također, prikazane su prosječne U vrijednosti za cijelu ovojnicu u odnosu na razdoblje izgradnje.

Tablica 5. Prosječne 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

Katić, D., Krstić, H., Marenjak, S.

U vrijednosti ovojnice školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

Analizirajući promjenu vrijednosti prosječnih U vrijednosti za zidove po razdobljima izgradnje može se primijetiti utjecaj promjene debljine zida. Zgrade građene do 1945. godine imaju masivne vanjske zidove izrađene od pune opeke debljine 48 cm ili od prirodnog kamena i obostrano ožbukane. Nakon tog razdoblja došlo je do promjene tehnologija građenja i uvođenja armiranog betona tako da zidovi postaju tanji što je u utjecalo na povećanje U vrijednosti za zidove. Od kraja 1980-ih godina i početka primjene slojeva toplinske izolacije pri gradnji zidova počinje smanjenje U vrijednosti zidova.

Kod otvora tek poslije 2010. godine počinje se značajnije popravljati U vrijednost. Otvori imaju loše toplinske karakteristike i veliku zrakopropusnost. Niska U vrijednost prozora dobar je izbor jer smanjuje potrebu za grijanjem, dok na potrebu za hlađenjem ne utječe puno [23].

Razdoblje izgradnje do 1945. godine karakteriziraju tradicionalne tehnike gradnje bez primjene toplinske zaštite. Primijenjeni materijali su uglavnom imali zadatak da zadovolje potrebe nosivosti dok se toplinska zaštita zgrada nije primjenjivala. Vanjski masivni zidovi uglavnom su izgrađeni od opeke ili kamena. Međukatne konstrukcije su pretežno drvene, ili masivne od opeke ili kamena, te ponekad (u kasnijem dijelu ovog razdoblja) od rebrastog betona. Podrumske prostorije u ovim zgradama su uglavnom negrijani prostori sa masivnim zidovima, čija je svrha na neki način bila odvajanje prostora za boravak od tla. Stropovi prema negrijanom prostoru (tavanu) su najčešće drveni sa obostranom daščanom oplatom i međuprostorom koji je popunjen šutom. Prozori i vrata su bili drveni sa jednim staklom, ili dvostruki sa dva krila na razmaku od oko 10 cm [11]. Navedene građevinske karakteristike uzrokovale su velike gubitke toplinske energije.

Usporedbom U vrijednosti ovojnice u odnosu na razdoblje izgradnje uočava se kako se u razdoblju od 1946. do 1965. godine pogoršavaju toplinske karakteristike u odnosu na razdoblje prije 1945. godine. Razlozi leže u promjenama konstrukcije građevinskih elemenata ovojnice smanjenjem debljine zidova, uvođenjem armiranog betona i novih tehnologija građenja koje omogućavaju bržu gradnju uz zanemarivanje toplinske zaštite što je prouzročilo znatno lošije toplinske karakteristike. Posljedica ovakve gradnje se očituje u pojačanoj potrošnji toplinske energije i pojave vlage zbog neizoliranih toplinskih mostova.

U razdobljima od 1966. do 1973. godine i od 1974. do 1987. godine došlo je do razvoja i primjene prvih propisa vezanih za toplinsku zaštitu zgrada koji su u određenoj mjeri utjecali na poboljšanje toplinskih karakteristika ovojnice i na smanjenje potrebne toplinske energije. Zgrade iz ovog razdoblja karakterizira pojava termoizolacijskog dvostrukog stakla, međutim okviri prozora su još uvijek bez neprekinutog toplinskog mosta. Zgrade iz ovog razdoblja karakteriziraju vrlo razučene arhitektonske forme sa vrlo lošim faktorom oblika, te velike staklene površine na vanjskim zidovima što nije značajnije utjecalo na poboljšanje U vrijednosti elemenata i ukupne ovojnice [11].

Razdoblje od 1988. do 2009. godine je karakteristično po vrlo slabom intenzitetu gradnje i po značajnijoj primjeni novih materijala u razdoblju poslije 2000. godine. Naime, tek nakon 2000. godine javlja se značajnija primjena termoizolacijskih materijala te prozora sa termoizolacijskim staklima i prekinutim toplinskim mostovima. To se međutim još uvijek događa spontano, bez zakonske obaveze, samo na osnovu spoznaja investitora i projekatanta i njihove vlastite potrebe smanjenja troškova grijanja [11].

Od 2010. godine prvi put se zgrade počinju promatrati i proračunavati kao jedinstvene energetske cjeline. Prisutan je značajan utjecaj programa i projekata međunarodnih organizacija iz oblasti poboljšanja energetske efikasnosti, na širenje znanja i svijesti o potrebi i dobrobitima toplinske zaštite zgrada. U ovom razdoblju se intenzivira izgradnja i rekonstrukcija zgrada sa toplinskim karakteristikama znatno boljim nego kod zgrada iz prethodnih razdoblja gradnje [11].

Na kraju je izvršena usporedba dobivenih U vrijednosti sa dopuštenim vrijednostima kako bi se utvrdio stupanj ispunjenosti istih kao i kvaliteta ovojnice u trenutnom stanju. U tablici 6 date su dopuštene U vrijednosti prema Pravilniku o tehničkim zahtjevima za toplinsku zaštitu objekata i racionalnu upotrebu energije iz 2009. godine i prema novom

Katić, D., Krstić, H., Marenjak, S.

U vrijednosti ovojnice školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

Pravilniku o minimalnim zahtjevima za energijskim karakteristikama zgrada iz 2019. godine koji ima pooštrene zahtjeva.

Tablica 6 Podaci o prosječnim U vrijednostima građevinskih elemenata ovojnice školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka i dopuštene vrijednosti prema pravilnicima

R. br.	Element ovojnice	Prosječna U vrijednost (W/m ² K)	Pravilnik 2009. [15] U (W/m ² K) za $\Theta_{e,mj} > 3^{\circ}\text{C}$	Pravilnik 2019. [24] U (W/m ² K) za $\Theta_{e,mj} > 3^{\circ}\text{C}$
1.	Vanjski zidovi	1,55	0,60	0,45
2.	Podovi	1,89	0,50	0,50
3.	Stropovi	1,90	0,40	0,30
4.	Otvori	2,76	1,80	1,60

gdje je $\Theta_{e,mj}$ srednja mjesečna temperatura najhladnijeg mjeseca u godini.

Prosječne U vrijednosti zidova u odnosu na zahtjeve iz 2009. godine veće su za 2,58 puta, za podove 3,78, za stropove 4,75 i otvore 1,53. U vrijednosti za postojeće stanje građevinskih elemenata ovojnice višestruko premašuju dopuštene što ukazuje na nedostatak slojeva toplinske izolacije i u najvećoj mjeri utječe na ukupne toplinske transmisivne gubitke. U odnosu na dopuštene vrijednosti iz 2019. godine prekoračenja U vrijednosti su još veća. Zbog navedenog U vrijednosti građevinskih elemenata ovojnice predstavljaju jedno od temeljnih obilježja ili karakternih varijabli koje utječu na potrošnju toplinske energije.

4. ZAKLJUČAK

Izvršena je statistička analiza karakteristika ovojnice školskih zgrada u RJ FBiH iz uzorka u odnosu na razdoblje izgradnje pri čemu je utvrđeno slijedeće:

- podjednak prosječan udio površine zidova i stropova u ukupnoj površini ovojnice koji iznosi cca 30,5 %, udio površine podova iznosi cca 27 % a udio otvora cca 12 %
- prosječna U vrijednost za zidove iznosi 1,55 W/m²K, za podove 1,89 W/m²K, za stropove 1,90 W/m²K i za otvore 2,76 W/m²K
- prosječna U vrijednost ukupne ovojnice iznosi 1,88 W/m²K
- prosječne U vrijednosti pojedinih elemenata ovojnice višestruko premašuju dopuštene vrijednosti prema važećim propisima što ukazuje na nedostatak slojeva toplinske izolacije.

Gore prikazani rezultati analize ukazuju na jako loše toplinske karakteristike postojećeg stanja ovojnice školskih zgrada u RJ FBiH te se u planiranju mjera na poboljšanje karakteristika građevinskih elemenata ovojnice predviđaju mjere na izradi toplinske izolacije vanjskih zidova, stropova prema tavanu, krovovima ili negrijanim prostorima i zamjeni vanjskih otvora.

Mjere za poboljšanje energetske efikasnosti mogu se klasificirati u kategorije prema energetskom, ekonomskom i okolinskom doprinosu. U energetskom smislu navedeno utječe na smanjenje potreba za toplinskom energijom za grijanje (zbog smanjenja toplinskih gubitaka) te na smanjenje troškova za grijanje, odnosno smanjenja uporabnih troškova (ekonomski kriterij). Navedeno ima utjecaja i na smanjenje utjecaja na okoliš i smanjenje emisije štetnih plinova.

LITERATURA

1. 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.010>
2. 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.
3. 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.049>
4. B. Basarir, B. S. Diri, and C. Diri, "Energy efficient retrofit methods at the building envelopes of the school buildings," in *Retrofit 2012*, 2012.
5. L. F. Cabeza, L. Rincón, Virginia Vilariño et al., "Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 29, pp. 394-416, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>
6. B. Nicolaea, and B. George-Vlad, "Life cycle analysis in refurbishment of the buildings as intervention practices in energy saving," *Energy and Buildings*, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.021>
7. P. Zancanella, P. Bertoldi, and B. Boza-Kiss, *Energy efficiency, the value of buildings and the payment default risk*, Luxembourg, 2018.
8. R. Pacheco, J. Ordonez, and G. Martínez, "Energy efficient design of building: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 3559-3573, 2012. [10.1016/j.rser.2012.03.045](http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.045)
9. R. S. Adhikari, E. Lucchi, and V. Pracchi, "Experimental measurements on thermal transmittance of the opaque vertical walls in the historical buildings."
10. G. K. Oral, and Z. Yilmaz, "The limit U values for building envelope related to building form in temperate and cold climatic zones," *Building and Environment*, vol. 37, pp. 1173-1180, 2002.
11. M. Nišandžić, *Tipologija javnih zgrada u Bosni i Hercegovini*, Razvojni program Ujedinjenih nacija (UNDP) u Bosni i Hercegovini, 2018.
12. 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.
13. *Smjernice za provođenje energijskog pregleda za nove i postojeće objekte s jednostavnim i složenim tehničkim sistemom*, Federalno ministarstvo prostornog uređenja, Sarajevo, 2009.
14. 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. [10.1016/j.apenergy.2012.02.009](http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.009)
15. *Pravilnik o tehničkim zahtjevima za toplinsku zaštitu objekata i racionalnu upotrebu energije* (Sl. novine FBiH, br. 49/09), Federalno ministarstvo prostornog uređenja, Sarajevo, 2009.
16. Ž. Pauše, *Uvod u matematičku statistiku: Školska knjiga Zagreb*, 1993.
17. M. Papić, *Primijenjena statistika u MS Excelu za ekonomiste, znanstvenike i neznalice*, Zoro d.o.o., Zagreb, 2005.
18. 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. <http://dx.doi.org/10.1108/02632779910293442>

Katić, D., Krstić, H., Marenjak, S.

U vrijednosti ovojnice školskih zgrada u regiji jug Federacije Bosne i Hercegovine

19. 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
20. R. Ghedamsi, N. Settou, A. Gouareh et al., "Modeling and forecasting energy consumption for residential buildings in Algeria using bottom-up approach," *Energy and Buildings*, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.030>
21. 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.017>
22. G. Ficco, F. Iannetta, E. Ianniello et al., "U-value IN-SITU measurement for energy diagnosis of existing buildings," *Energy and Buildings*, 2015.
23. M. S. Vasov, J. N. Stevanović, V. B. Bogdanović et al., "Impact of Orientation and Building Envelope Characteristics on energy consumption, Case Study of Office Building in City of Nis," *THERMAL SCIENCE*, vol. 22, pp. 1499-1509, 2018. <https://doi.org/10.2298/TSCI18S5499V>
24. Pravilnik o minimalnim zahtjevima za energetske značajke zgrada (Sl. novine FBiH", br. 81/2019), Federalno ministarstvo prostornog uređenja, Sarajevo, 2019.