

Energetska tranzicija u zgradarstvu

Zoran Veršić¹, Marin Binički¹, Mateja Nosil Mešić¹

¹Sveučilište u Zagrebu Arhitektonski fakultet, Zagreb

Sažetak: Zgrade su odgovorne za otprilike 40% ukupne potrošnje energije u Europskoj uniji pa tako i u Republici Hrvatskoj. Iz tog razloga Europski parlament i Vijeće Europske unije donose mjere koje imaju za cilj smanjiti potrošnju energije u zgradarstvu i potaknuti korištenje energije iz obnovljivih izvora kako bi se smanjila energetska ovisnost Europske unije i emisija stakleničkih plinova. Regulativa iz područja energetske učinkovitosti zgrada u Republici Hrvatskoj, u skladu s ciljevima Europske unije, kontinuirano uvodi poboljšanja energetske učinkovitosti i smanjenje CO₂ emisija. Kroz zadnjih 20 godina značajan napredak je postignut u uštedi energije koja se troši u zgradama kao i u izvorima energije. Gotovo nula energetske standard, obavezan od 2020. godine, predstavlja najveći doprinos u pogledu obveze primjene obnovljivih izvora energije u zgradama. Ovim radom istražiti će se koliko su, u odnosu na energetske učinkovitost, promjene u regulativi Republike Hrvatske utjecale na uštedu energije kod projektiranih zgrada i potrošnju energije iz fosilnih i obnovljivih izvora.

Ključne riječi: zgrade, CO₂ emisije, energetska učinkovitost, gotovo nula energetske zgrade, obnovljivi izvori energije

1. Potrošnja energije u zgradama

Toplinska energija u zgradama prvenstveno se koristi za grijanje i pripremu PTV (potrošne tople vode). Ostala potrošnja uključuje električnu energiju za rasvjetu, ventilaciju, hlađenje i pogon kućanskih uređaja. Za različita klimatska područja Europe različita je i potrošnja energije za pojedine funkcije. U mediteranskom području energija za hlađenje iznosi do 40% ukupne potrošnje i premašuje energiju za grijanje koja iznosi do 30% [1]. U srednjoj i sjevernoj Europi taj omjer je drugačiji i energija za grijanje je dominantna dok je energija za hlađenje zanemariva. U Europskoj uniji je 2022. godine 78% ukupne potrošnje u zgradama predstavljala potrošnja energije za grijanje i pripremu PTV [2]. Ostala potrošnja energije je značajno manjeg udjela, priprema PTV iznosi oko 20% potrošnje, a rasvjeta 5-10% [1].

2. Zahtjevi regulativa Republike Hrvatske u pogledu energetske učinkovitosti u zgradama

U Republici Hrvatskoj prvi propisi o toplinskoj zaštiti zgrada doneseni su 1970. godine [3]. U njima je bila određena podjela državnog teritorija na tri građevinsko-klimatske zone. Za svaku zonu su bile propisane najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaza topline za pojedine građevne dijelove. Prva naftna kriza 1973. godine ubrzala je opće prihvaćanje činjenica da su izvori fosilnih goriva, na kojima se temeljila energetska tehnologija, sasvim sigurno ograničeni i da je stoga energente potrebno racionalno koristiti [4,5]. Mnoge industrijski razvijene zemlje ubrzo donose prve zakone i propise o štednji toplinske energije za zagrijavanje građevina. Kod nas se propis iz 1970. godine prvi put mijenja 1980. godine [6]. Promjena se odnosila na pooštavanje dopuštenih vrijednosti koeficijenta prolaza topline za pojedine građevne dijelove. Novi tehnički propis pod nazivom Toplinska tehnika u građevinarstvu, Tehnički uvjeti za projektiranje i građenje zgrada (HRN U.J5.600./1987) izlazi 1987. godine [7]. Bitna novost bila je u ograničavanju toplinskih gubitaka, ne samo kroz pojedine građevne dijelove ovojnice zgrade, već i za zgradu kao cjelinu. Osnovna svrha ovog propisa je bila zadovoljiti tri glavna cilja toplinske zaštite: osigurati povoljne mikroklimatske uvjete prostora zgrade, zaštititi građevinske elemente od oštećenja uslijed građevinsko – fizikalnih djelovanja i osigurati racionalno korištenje energije. Potpuno novi Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama objavljen je 2005. godine (Narodne novine 79/2005) s obaveznom primjenom od 1. srpnja 2006. godine [8]. Za proračune i ispitivanja građevnih dijelova zgrade postalo je obavezno korištenje europskih normi koje su preuzete u Republici Hrvatskoj. Za izračune se koriste klimatološki podaci najbliže meteorološke postaje, a zahtjevi za zgrade ovise o srednjim mjesečnim temperaturama vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade ($\Theta_{e,mj,min} > +3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ili $\Theta_{e,mj,min} \leq +3\text{ }^{\circ}\text{C}$) što, u pravilu, odgovara vrijednostima lokacija u primorskoj i kontinentalnoj Hrvatskoj.

Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama iz 2005. godine obuhvaćao je zahtjeve za koeficijente prolaza topline za pojedine građevne dijelove, ali i za potrošnju energije zgrade u cjelini. Dozvoljena specifična godišnja potrošnja energije za grijanje određivala se prema faktoru oblika, f_0 [m^{-1}] gdje je faktor oblika količnik oplošja, A [m^2], i obujma, V_e [m^3], grijanog dijela zgrade [9]. Za stambene zgrade, dozvoljena specifična energija za grijanje $Q''_{H,nd}$ [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a})$] određivala se u odnosu na korisnu površinu zgrade, A_k [m^2] prema jednadžbi (1):

$$\begin{aligned}
 & - \text{za } f_0 \leq 0,20 & Q''_{H,nd} &= 51,31 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a}) \\
 & - \text{za } 0,20 < f_0 < 1,05 & Q''_{H,nd} &= (41,03 + 51,41 \cdot f_0) \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a}) \\
 & - \text{za } f_0 \geq 1,05 & Q''_{H,nd} &= 95,01 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a})
 \end{aligned} \tag{1}$$

Za nestambene zgrade dozvoljena specifična godišnja energija za grijanje, $Q'_{H,nd}$ [kWh/(m³×a)] iskazivala se u odnosu na grijani volumen zgrade, V_e [m³] prema jednadžbi (2):

$$\begin{aligned} & - \text{za } f_0 \leq 0,20 & Q'_{H,nd} &= 16,42 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \times \text{a}) \\ & - \text{za } 0,20 < f_0 < 1,05 & Q'_{H,nd} &= (13,13 + 16,45 \cdot f_0) \text{ kWh}/(\text{m}^3 \times \text{a}) \\ & - \text{za } f_0 \geq 1,05 & Q'_{H,nd} &= 30,40 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \times \text{a}). \end{aligned} \quad (2)$$

2008. godine izlazi novi Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (Narodne novine 110/2008) [9]. Ovim propisom, kao i svim Tehničkim propisima nakon njega implementiraju se europske Uredbe i Direktive u svrhu ispunjavanja bitnog zahtjeva za građevinu: “ušteda energije i toplinska zaštita”. Tehničkim propisom iz 2008. godine bilo je zabranjeno korištenje elektro-otpornog grijanja u zgradama, ali nije bila propisana maksimalna dozvoljena potrošnja primarne energije, kao niti minimalan udio obnovljivih izvora energije. Drugim riječima, izvor toplinske energije mogli su biti fosilni izvori poput prirodnog plina, lož ulja i sl. što je najčešće i bio slučaj.

U Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (Narodne novine 97/2014) uvedeno je ograničenje godišnje potrebne primarne energije po jedinici ploštine korisne površine zgrade za stvarne klimatske podatke Q''_{prim} [kWh/(m²×a)], godišnje potrebne toplinske energije za hlađenje po jedinici ploštine korisne površine zgrade, $Q''_{c,nd}$ [kWh/(m²×a)], te ispunjavanje zahtjeva u pogledu primjene obnovljivih izvora energije [10].

Novi Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (Narodne novine 128/2015) stupa na snagu 2015. godine, koji je kroz niz dopuna i izmjena i danas na snazi [11]. Kao i u propisu iz 2005. godine obuhvaćeni su zahtjevi za pojedine građevne dijelove i za potrošnju energije za grijanje zgrade u cjelini. Osim toga propisana je maksimalna dozvoljena potrošnja primarne energije u zgradi, kao i minimalan udio obnovljivih izvora energije u isporučenoj energiji za zgrade gotovo nulte energije. Propisan je i izračun godišnje isporučene energije E_{del} [kWh/a]. Tablica 1 prikazuje godišnju dozvoljenu specifičnu energiju za grijanje $Q''_{H,nd}$ [kWh/(m²×a)] u odnosu na faktor oblika i namjenu zgrade te dozvoljenu specifičnu potrošnju primarne energije u zgradi $E_{prim/Ak}$ [kWh/(m²×a)] za zgrade gotovo nulte energije i nove zgrade u periodu od 2015. godine do početka obveze primjene zgrada gotovo nulte energije [12].

Tablica 1: Dozvoljena potrošnja energije u zgradama [12]

ZAHTEJEVI ZA NOVE ZGRADE i GÖEZ	$Q''_{H,nd}$ [kWh/(m ² ·a)]						E_{prim} [kWh/(m ² ·a)]			
	NOVA ZGRADA i GÖEZ						NOVA		GÖEZ	
	kontinent, $\theta_{mm} \leq 3$ °C			primorje, $\theta_{mm} > 3$ °C			kont $\theta_{mm} \leq 3$ °C	prim $\theta_{mm} > 3$ °C	kont $\theta_{mm} \leq 3$ °C	prim $\theta_{mm} > 3$ °C
KATEGORIJA ZGRADE	$f_a \leq 0,20$	$0,20 < f_a < 1,05$	$f_a \geq 1,05$	$f_a \leq 0,20$	$0,20 < f_a < 1,05$	$f_a \geq 1,05$				
Višestambena	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_a$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_a$	45,99	120	90	80	50
Obiteljska kuća	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_a$	75,00	24,84	$17,16 + 38,42 \cdot f_a$	57,50	115	70	45	35
Uredska	16,94	$8,82 + 40,58 \cdot f_a$	51,43	16,19	$11,21 + 24,89 \cdot f_a$	37,34	70	70	35	25
Obrazovna	11,98	$3,86 + 40,58 \cdot f_a$	46,48	9,95	$4,97 + 24,91 \cdot f_a$	31,13	65	60	55	55
Bolnica	18,72	$10,61 + 40,58 \cdot f_a$	53,21	46,44	$41,46 + 24,89 \cdot f_a$	67,60	300	300	250	250
Hotel i restoran	35,48	$27,37 + 40,58 \cdot f_a$	69,98	11,50	$6,52 + 24,89 \cdot f_a$	32,65	130	80	90	70
Sportska dvorana	96,39	$88,28 + 40,58 \cdot f_a$	130,89	37,64	$32,66 + 24,91 \cdot f_a$	58,82	400	170	210	150
Trgovina	48,91	$40,79 + 40,58 \cdot f_a$	83,40	13,90	$8,92 + 24,91 \cdot f_a$	35,08	450	280	170	150
Ostale nestambene	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_a$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_a$	45,99	150	100	/	/

Primjena zahtjeva za zgrade gotovo nulte energije postala je obavezna od početka 2018. godine za zgrade u vlasništvu javnopravnih tijela, i od početka 2020. godine za sve nove zgrade. U periodu od 2015. do trenutka obaveze primjene standarda gotovo nulte energije bila je dozvoljena znatno viša potrošnja primarne energije, a udio obnovljivih izvora energije nije bio propisan. Tadašnje zahtjeve Tehničkog propisa bilo je i dalje moguće ispuniti toplinskim sustavima baziranim na fosilnim izvorima energije – prirodni plin, lož ulje i sl.

Od 2018. odnosno 2020. godine zahtjevi za potrošnjom primarne energije znatno su se postrožili kao i obaveza udjela obnovljivih izvora energije. Nisku potrošnju primarne energije, kao i udio obnovljivih izvora energije u isporučenoj energiji nije moguće postići bez primjene obnovljivih izvora energije. Od 2018. odnosno 2020. godine sustavi grijanja i pripreme PTV (potrošne tople vode) u zgradama više nisu mogli biti bazirani na fosilnim izvorima, već to postaju visokoučinkovite dizalice topline i kotlovi na biomasu. Osim tih sustava, za zgrade gotovo nulte energije primjenjivi su i sustavi solarne pripreme tople vode, fotonaponske elektrane i sustavi daljinskog grijanja bazirani na kogeneraciji, međutim oni nisu obuhvaćeni ovom analizom.

Dizalice topline koriste električnu energiju za rad. Električna energija se većinom dobiva iz fosilnih izvora energije zbog čega se promatra kao neobnovljivi energent, ima relativno visok faktor primarne energije kao i specifične CO₂ emisije po kWh (Tablica 2). Međutim, visokoučinkovite dizalice topline električnu energiju koriste za mehanički rad kojim toplinu preuzimaju iz okoliša – okolnog zraka, tla ili vode. Na taj način, za 1 kWh utrošene električne energije, dizalica topline može preuzeti npr. 3 kWh toplinske energije iz okoliša.

Sustavi grijanja i pripreme PTV na pelete ili sječku prikladni su za zgrade gotovo nulte energije jer koriste obnovljivi energent – biomasu. Biomasa lokalno stvara velike količine CO₂ i zagađenje stoga nije prikladna za visoko urbanizirana područja. Međutim, globalno gledano, biomasa ima najniže faktore primarne energije kao i

CO₂ emisije (Tablica 2). Razlog tome je taj što je ugljik koji se oslobađa iz biomase apsorbiran iz atmosfere unazad nekoliko desetaka godina. Suprotno tome, ugljik koji je oslobođen iz fosilnih goriva je apsorbiran prije nekoliko stotina milijuna godina.

Tablica 2: Faktori primarne energije i CO₂ emisije energenata [13]

Energent		Faktor primarne energije [-]	Emisija CO ₂ [kg CO ₂ /GJ]	Emisija CO ₂ [kg CO ₂ /MWh]
Kameni ugljen		1,0381	95,49	343,78
Mrki ugljen		1,0540	98,09	353,14
Lignit		1,0814	105,13	378,48
Ogrjevno drvo		1,0000	8,08	29,09
Drveni briketi		1,0000	9,10	32,76
Drveni peleti		0,123	9,56	34,4
Drvena sječka		0,154	11,76	42,35
Drveni ugljen		1,000	7,27	26,17
Sunčeva energija		0,000	0,00	0,00
Geotermalna energija		0,000	0,00	0,00
Prirodni plin		1,095	61,17	220,20
UNP		1,160	72,47	260,88
Petroleji		1,033	73,54	264,73
Ekstra lako loživo ulje		1,138	83,21	299,57
Loživo ulje		1,130	86,20	310,31
Električna energija-preuzeto iz mreže		1,614	65,22	234,81
Daljinska toplina	Hrvatska prosjek	1,494	100,69	362,49
	CTS ZG+OS (kogeneracija)	1,466	97,59	351,33
	KO - prosjek za HR	1,597	109,57	394,46
	CTS ZG (kogeneracija)	1,462	96,05	345,78
	CTS OS (kogeneracija)	1,478	110,15	396,53
	KO - prosjek za ZG	1,559	107,86	388,31
	KO - prosjek za OS	1,529	93,66	337,18
	KO - prosjek za RI	1,569	106,84	384,62
	KO - prosjek za SI. Brod	1,385	100,12	360,42
	KO - prosjek za Split	1,540	132,48	476,94
	KO - prosjek za KA	1,434	115,77	416,77
	KO - prosjek za VŽ	1,489	91,27	328,56
	KO - prosjek za Vinkovce	1,442	103,52	372,66
	KO - prosjek za Vukovar	1,363	86,00	309,61
	KO - prosjek za Sisak	2,419	148,13	533,25
	KO - prirodni plin	1,350	82,74	297,88
	KO - loživo ulje	1,444	124,41	447,88
	KO - ekstra lako loživo ulje	1,429	118,87	427,94

2.1 Specifična isporučena energija i CO₂ emisije

Napredak u regulativi energetske učinkovitosti u odnosu na obnovljive izvore energije i CO₂ emisije energije za grijanje iskazat će se za tri perioda: od 2006. do 2015. godine, od 2015. godine do trenutka obaveze gotovo nula energetskog standarda 2018. odnosno 2020. godine, te period nakon toga do danas. S obzirom da je u primorskom klimatskom području Hrvatske dominantna energija za hlađenje, ova analiza fokusirat će se samo na zgrade u kontinentalnom klimatskom području. Budući da su zahtjevi za dozvoljenom specifičnom energijom za grijanje drugačiji za različite vrste zgrada, različite namjene će se također uzeti u obzir.

Potrošnja specifične energije za grijanje za pojedine namjene uzet će se kao prosjek minimalne i maksimalne dozvoljene potrošnje definirane Tehničkim propisom. Za period od 2006. do 2015. godine dozvoljena specifična potrošnja energije za grijanje kod nestambenih zgrada iskazuje se u odnosu na volumen grijanog dijela zgrade, $Q'_{H,nd}$ [kWh/(m³×a)] [8]. Dozvoljena potrošnja energije svedena je s volumena na korisnu površinu na način da su pretpostavljene visine etaža za različite namjene zgrada. Tablica 3 prikazuje dozvoljene specifične energije za grijanje za zgrade u periodu od 2006. do 2015. godine.

Tablica 3: Prosječna dozvoljena specifična energija za grijanje zgrada od 2006. do 2015. godine

Vrsta zgrade	$Q''_{H,nd,min}$ [kWh/(m ² ×a)]	$Q''_{H,nd,max}$ [kWh/(m ² ×a)]	$Q''_{H,nd,avg}$ [kWh/(m ² ×a)]	h' (m ¹)	$Q''_{H,nd,avg}$ [kWh/(m ² ×a)]
Višestambena	51,31	95,01	73,16	-	73,16
Obiteljska kuća					73,16
	$Q'_{H,nd,min}$ [kWh/(m ³ ×a)]	$Q'_{H,nd,max}$ [kWh/(m ³ ×a)]	$Q'_{H,nd,avg}$ [kWh/(m ³ ×a)]		
Uredska	16,42	30,4	23,41	4	93,64
Obrazovna				4	93,64
Bolnica				4	93,64
Hotel i restoran				4	93,64
Sportska dvorana				6	140,46
Trgovina				4	93,64
Ostale nestambene				4	93,64

Tehnički propis iz 2015. godine definira dozvoljenu specifičnu energiju za grijanje u odnosu na ploštinu korisne površine zgrade ovisno o namjeni zgrade i klimatskom području u kojem se zgrada nalazi [12]. Isti zahtjevi su zadržani i nakon uvođenja

obaveze gotovo nula energetskog standarda 2018. odnosno 2020. godine. Tablica 4 pokazuje minimalne i maksimalne dozvoljene te prosječne specifične energije za grijanje za različite vrste zgrada od 2015. godine do danas.

Specifična potrošnja energije za grijanje pokazuje količinu toplinske energije koju je potrebno osigurati unutar grijane zone kako bi se osigurala željena temperatura prostora tijekom sezone grijanja. Potrebnu toplinu u zoni moguće je osigurati raznim sustavima i energentima. Procjena isporučene energije za grijanje napravljena je za četiri različita sustava grijanja: standardni i kondenzacijski kotao na prirodni plin, dizalica topline zrak-voda i kotao na pelete. Osnovni parametri sustava proizvodnje i predaje topline određeni su prema *Algoritmu za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama* [14]. Tablica 5 prikazuje osnovne karakteristike termotehničkih sustava korištenih u analizi.

Tablica 4: Prosječna dozvoljena specifična energija za grijanje zgrada od 2015. godine

Vrsta zgrade	Kontinentalna klima			Primorska klima		
	$Q''_{H,nd,min}$ [kWh/ (m ² ×a)]	$Q''_{H,nd,max}$ [kWh/ (m ² ×a)]	$Q''_{H,nd,avg}$ [kWh/ (m ² ×a)]	$Q''_{H,nd,min}$ [kWh/ (m ² ×a)]	$Q''_{H,nd,max}$ [kWh/ (m ² ×a)]	$Q''_{H,nd,avg}$ [kWh/ (m ² ×a)]
Više-stambena	40,50	75,00	57,75	24,84	45,99	35,42
Obiteljska kuća	40,50	75,00	57,75	24,84	45,99	35,42
Uredska	16,94	51,43	34,19	16,19	37,42	26,81
Obrazovna	11,98	46,48	29,23	9,95	31,13	20,54
Bolnica	18,72	53,21	35,97	46,44	67,60	57,02
Hotel i restoran	35,48	69,98	52,73	11,50	32,65	22,08
Sportska dvorana	96,39	130,89	113,64	37,64	58,82	48,23
Trgovina	48,91	83,40	66,16	13,90	35,08	24,49
Ostale nestambene	40,50	75,00	57,75	24,84	45,99	35,42

Tablica 5: Karakteristike analiziranih termotehničkih sustava

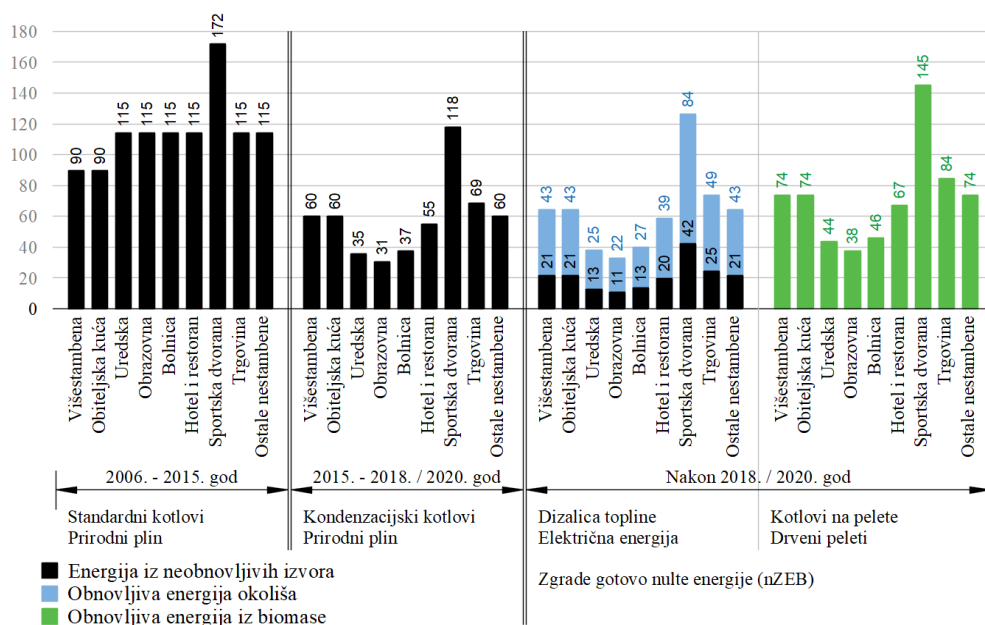
Period	Termotehnički sustav grijanja	η_{gen} (-)*	η_{em} (-)*
2008. – 2015.	Standardni plinski kotao; Radijatorsko grijanje	0,86	0,95
2015. – 2018. / 2020.	Kondenzacijski plinski kotao; Podno grijanje	1,07	0,90
2018. / 2020. do danas (nZEB)	Dizalica topline zrak-voda; Podno grijanje	3,00	0,90
	Kotao na pelete; Podno grijanje	0,82	0,90

* η_{em} – učinkovitost sustava predaje; η_{gen} – učinkovitost izvora topline

3. Rezultati

Temeljem specifične godišnje potrebne energije za grijanje $Q''_{H,nd,avg}$ [kWh/(m²×a)] i učinkovitosti podsustava grijanja $\eta_{em,gen}$ [-] određena je specifična godišnja isporučena energija za grijanje $E''_{del,H}$ [kWh/(m²×a)] za promatrane periode, kako je prikazano na Slici 1.

Slika 1 prikazuje promjene u specifičnoj isporučenoj energiji za grijanje $E''_{del,H}$ [kWh/(m²×a)] u skladu s unaprjeđenjem propisa vezanih za energetska učinkovitost u zgradama u kontinentalnoj klimi. Isporučena energija ovisi o dozvoljenoj specifičnoj energiji za grijanje $Q''_{H,nd}$ [kWh/(m²×a)] koja je definirana Tehničkim propisom i učinkovitosti sustava grijanja. Uz specifičnu isporučenu energiju za grijanje prikazan je i udio obnovljivih izvora energije iz okoliša i biomase. U periodu nakon 2015. godine vidljiv je značajan pad u isporučenoj energiji uslijed strožih zahtjeva za specifičnom energijom za grijanje $Q''_{H,nd}$ [kWh/(m²×a)], kao i primjeni učinkovitijih kondenzacijskih kotlova. Nakon obaveze gotovo nula energetskog standarda 2018., odnosno 2020. godine, zahtjevi za specifičnom energijom za grijanje $Q''_{H,nd}$ [kWh/(m²×a)] nisu se mijenjali, ali unatoč tome primjećuje se značajan porast udjela obnovljive energije u grijanju kao i pad energije iz neobnovljivih izvora. Razlog tomu je obaveza prijelaza na obnovljive izvore energije i minimiziranje korištenja fosilnih izvora.



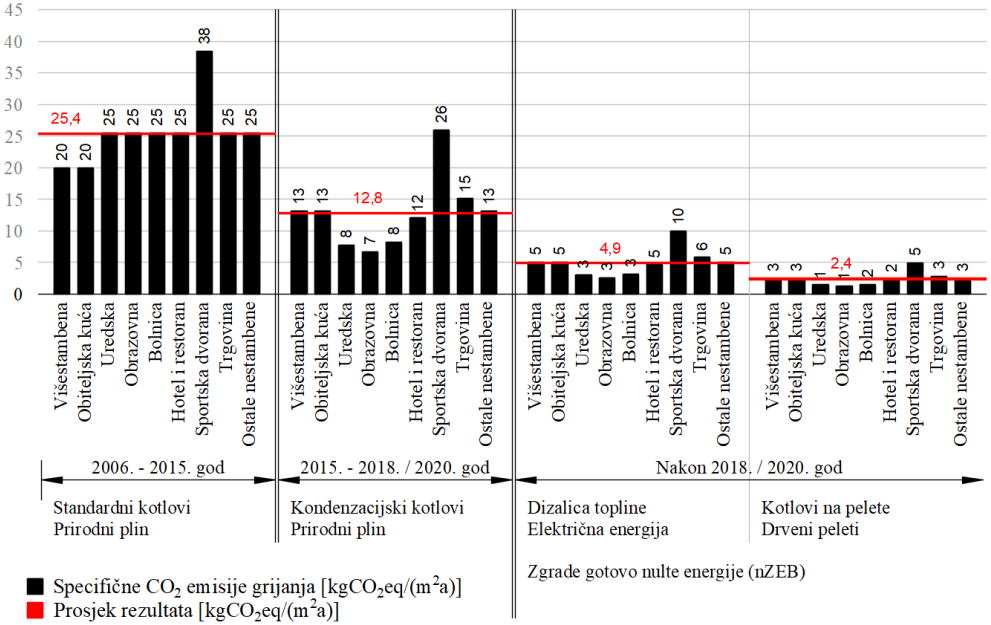
Slika 1: Specifična isporučena energija za grijanje $E''_{del,H}$ [kWh/(m²×a)], kontinentalna klima

U slučaju dizalica topline, specifična obnovljiva energija okoliša u grijanju, $E''_{ren,H}$ [kWh/(m²×a)] predstavlja većinu toplinske energije za grijanje, a ovisi o učinkovitosti dizalica topline. Obnovljiva energija za grijanje određuje se prema jednadžbama (3) i (4):

$$E_{ren,H} = Q_{H,in} - E_{del,H} \text{ [kWh]} \quad (3)$$

$$E_{del,H} = \frac{Q_{H,in}}{\eta_{gen}} \text{ (kWh)} \quad (4)$$

gdje je $Q_{H,in}$ [kWh] toplinska energija koju izvor topline mora isporučiti sustavu grijanja zgrade. Kod kotlova na pelete energija iz obnovljivog energenta odnosno biomase, $E''_{renI,H}$ [kWh/(m²×a)] predstavlja ukupnu toplinsku energiju za grijanje. U prikazanim rezultatima, pomoćna električna energija izvora topline, kao i energija za rad pumpi razvoda grijanja i primarne cirkulacije nije uzeta u obzir jer je ona vrlo mala u odnosu na isporučenu energiju za grijanje. Povezivanjem specifične isporučene količine energije s obzirom na vrstu energenta (Slika 1) i specifične emisije energenata po kWh energije (Tablica 2) dobivamo specifične godišnje emisije CO₂ za grijanje, kako je prikazano na Slici 2.



Slika 2: Specifične CO₂ emisije energije za grijanje [kgCO₂eq/(m²×a)]

4. Zaključak

Slika 2 prikazuje kako su promjene u regulativi energetske učinkovitost, kroz strože uvjete potrošnje energije i obaveze primjene obnovljivih energenata, naročito od 2015. do danas utjecale na specifične CO₂ emisije [kg CO₂eq/(m²×a)] za potrebe grijanja zgrada.

U periodu od 2008. do 2015. godine regulirana je dozvoljena potrošnja energije za grijanje kod stambenih i nestambenih zgrada. Tada još nije postojala obaveza korištenja obnovljivih izvora energije i najčešći sustavi grijanja bili su oni na fosilna goriva. Prema dozvoljenim vrijednostima potrošnje energije i karakteristikama tada uobičajenih sustava grijanja, prosječne specifične CO₂ emisije energije grijanja za različite vrste zgrada iznose 25,4 kg CO₂eq/(m²×a).

2015. godine na snagu stupa novi Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama sa strožim zahtjevima za dozvoljenu specifičnu potrošnje energije za grijanje $Q''_{H,nd}$ [kWh/(m²×a)], a dozvoljene vrijednosti definirane su za sve vrste zgrada. Uvodi se izračun primarne energije i udjela obnovljivih izvora energije, ali ne postaje obavezan sve do uvođenja gotovo nula energetskeg standarda 2018. godine za zgrade u vlasništvu javnopravnih tijela odnosno 2020. godine za sve nove zgrade. U tom periodu i dalje se koriste sustavi grijanja na fosilne izvore, odnosno najčešće kondenzacijski kotlovi. Stroži zahtjev za uštedom energije i učinkovitiji sustavi grijanja rezultiraju nižim specifičnim emisijama. Za taj period, prosjek za sve vrste zgrada prema propisu iznosi 12,8 kg CO₂eq/(m²×a) što čini smanjenje od 50% u odnosu na period do 2015. godine.

Uvođenjem gotovo nula energetskeg standarda 2018. odnosno 2020. godine zahtjevi za dozvoljenu specifičnu potrošnje energije za grijanje $Q''_{H,nd}$ (kWh/(m²×a)) nisu se mijenjali, ali primjena sustava baziranih na obnovljivim izvorima energije postaje obaveza. Grijanje zgrada i priprema potrošne tople vode više ne može biti isključivo fosilnim gorivima, već to moraju biti dizalice topline, kotlovi na biomasu, kogeneracija, solarna energija i drugi obnovljivi izvori. Dizalice topline koriste električnu energiju za preuzimanje ili predavanje topline okolišu, stoga imaju vrlo visoku učinkovitost. Iako koriste energent koji smatramo neobnovljivim, električnu energiju, koriste ga u vrlo maloj mjeri što rezultira niskim specifičnim emisijama CO₂ za grijanje. Analiza ušteda CO₂ emisija napravljena je za dizalice topline zrak-voda i kotlove na biomasu – drvene pelete.

Prema dozvoljenim vrijednostima potrošnje energije sukladno Tehničkom propisu i prosječnim karakteristikama dizalica topline, specifične CO₂ emisije energije grijanja za različite vrste zgrada iznose u prosjeku 4,9 kg CO₂eq/(m²×a). U odnosu na period prije uvođenja gotovo nula energetskeg standarda to predstavlja smanjenje od 62% u specifičnim CO₂ emisijama za grijanje, a u odnosu na period do 2015. godine smanjenje od 81%.

U slučaju biomase kao izvora energije za grijanje, prosjek specifičnih emisija iznosi 2,4 kg CO₂eq/(m²×a), što u odnosu na period do uvođenja gotovo nula energetskeg standarda predstavlja smanjenje od 81%, a u odnosu na period do 2015. godine smanjenje od 91%.

Osim za grijanje, toplinska energija se u zgradama koristi i za pripremu PTV, uz električnu energiju za rasvjetu, hlađenje, ventilaciju i kućanske uređaje. Iako toplinska energija nije jedina potrošnja energije u zgradama, ona predstavlja udio od približno 80% u ukupnoj potrošnji energije.

Iz ove analize možemo zaključiti kako je svaka nadogradnja regulative iz energetske učinkovitosti napravila napredak u smanjenju stakleničkih plinova iz zgrada, dok je obaveza gotovo nula energetskeg standarda najviše doprinijela uštedama CO₂ emisija za proizvodnju toplinske energije u zgradama.

5. Literatura

- [1] Bekele, M. T.; Atakara, C.: Residential Building Energy Conservation in Mediterranean Climate Zone by Integrating Passive Solar and Energy Efficiency Design Strategies, *Buildings*, **13** (2023) 1073, <https://doi.org/10.3390/buildings13041073>
- [2] EEA, Decarbonising heating and cooling - a climate imperative, EEA Brief. (2023) 1–19, https://www.eea.europa.eu/publications/decarbonisation-heating-and-cooling/decarbonising-heating-and-cooling?utm_source=piano&utm_medium=email&utm_campaign=23084&pnespid=sbd9ES5NaKQCxemZoGy0Cpncrh_vRZl_dbDgwutn9g9mwc_iGAeN7BsWO-pnT1pcXpqFS3yiCwA, *Pristupljeno*: 2025.03.10.
- [3] Pravilnik o tehničkim mjerama i uvjetima za toplinsku zaštitu zgrada, Službeni list SFRJ br. 35/70, 1970
- [4] Kristjansdottir, T. F.; Heeren, N.; Andresen, I.; Brattebø, H.: Comparative emission analysis of low energy and zero emission buildings, *Building Research & Information*, **46** (2018) 367–382, <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1305690>
- [5] Muraj, I.; Veršić, Z.; Binicki, M.: Sustainability, Environmental Performance and Energy Efficiency in Higher Education: Faculty of Architecture, University of Zagreb, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 410 (2020) 012088, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012088>
- [6] JUS U.J5.600 – Toplinska tehnika u građevinarstvu, Tehnički uvjeti za projektiranje i gradnje zgrada, Službeni list SFRJ br. 3/80, 1980
- [7] JUS U.J5.600 – Toplinska tehnika u građevinarstvu, Tehnički uvjeti za projektiranje i gradnje zgrada, Službeni list SFRJ 69/87, 1987

- [8] Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Narodne novine broj 79/2005, 2005
- [9] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Narodne novine broj 110/2008, 2008
- [10] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Narodne novine broj 97/2014, 2014
- [11] Ministarstvo prostornog uređenja graditeljstva i državne imovine, Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Narodne novine brojevi 128/2015, 70/2018, 73/2018, 86/2018, 102/2020, 2020
- [12] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Narodne novine broj 128/2015, 2015
- [13] Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, Faktori primarne energije i emisija CO₂ (u primjeni od 30. rujna 2017.), Algoritam za izračun energetske svojstava zgrada (objavljen 15. svibnja 2017. - u obveznoj primjeni od 30. rujna 2017.), 2017., <https://mpgi.gov.hr/pristup-informacijama-16/zakoni-i-ostali-propisi/podrucje-energetske-ucinkovitosti/algoritam-za-izracun-energetskih-svojstava-zgrada-objavljen-15-svibnja-2017-u-obveznoj-primjeni-od-30-rujna-2017/8930>, *Pristupljeno: 2025.03.08.*
- [14] Dović, D.; Horvat, I.; Rodić, A.; Soldo, V.; Srećko, Š.: Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama, Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode, Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2015