

Izjavljujem da sam ovaj rad radila samostalno, korištenjem dostupne literature i stečenog znanja prilikom studiranja.

Zahvaljujem se svojim mentorima prof. dr. sc. Nevenu Duiću i doc. dr. sc. Vladimiru Soldu na pomoći i savjetima tijekom izrade rada. Također se zahvaljujem Tomislavu Pukšecu na pruženoj pomoći i savjetima.

Zahvale upućujem i svojoj obitelji na iskazanoj podršci i razumijevanju.

Anamarija Šare

SAŽETAK

Zgrade se ubrajaju u jedne od najvećih potrošača električne energije, a u Hrvatskoj njihova potrošnja zauzima 41% ukupne finalne potrošnje energije. Zbog te činjenice i sve veće osviještenosti ljudi o uštedi električne energije kao i o smanjenju emisija štetnih plinova koji imaju loš utjecaj na okoliš, nastoji se zgrade učiniti energetski što učinkovitijima.

Da bi odredili potrošnju električne energije u zgradi potrebno je proračunati energetske tokove koji se u njoj javljaju. Na temelju tih podataka nastoji se provesti što kvalitetnija gradnja zgrada kako bi se smanjili energetski gubici koji zahtijevaju veću potrošnju električne energije. Kao izvor energije koriste se obnovljivi izvori koji imaju puno manje emisije štetnih plinova u okoliš od konvencionalnih izvora energije.

U ovom radu opisan je jedan takav stambeni objekt na području Dubrovnika prema dva scenarija gradnje. Prvi scenariji uključuje gradnju zgrade prema postojećim regulativama, dok se drugi scenarij odnosi na izgradnju zgrade prema propisima Europske Unije koji će vrijediti u 2019. godini.

Kao rješenje smanjenja električne energije poboljšana je kvaliteta izgradnje zgrade i smanjeni su energetski gubici. Korištenjem fotonaponskih kolektora smanjena je i emisija štetnih plinova i dobila se energetski nezavisna zgrada koja je u funkciji malog energetskog postrojenja. Za opskrbu zgrade toplinskom i rashladnom energijom odabrana je dizalica topline kao visokoučinkovit uređaj.

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	5
POPIS TABLICA.....	7
POPIS OZNAKA.....	8
1 UVOD.....	11
2 POTROŠNJA ENERGIJE U ZGRADAMA	14
2.1 Energetska (toplinska) bilanca zgrade	14
2.2 Energetski razredi i ocjena učinkovitosti potrošnje energije u zgradi.....	16
3 TIPSKA ZGRADA	20
3.1 Pokrivanje opterećenja i energetske potrošnje zgrade obnovljivim izvorima energije ..	22
4 PRORAČUN ENERGETSKE BILANCE TIPSKE ZGRADE ZA STANJE U 2009. GODINI	23
4.1 Proračun toplinskih gubitaka	24
4.1.1 Proračun transmisijskih gubitaka	25
4.1.2 Proračun ventilacijskih gubitaka	26
4.2 Proračun toplinskih dobitaka.....	26
4.2.1 Proračun unutarnjih toplinskih dobitaka	27
4.2.2 Proračun toplinskih dobitaka od sunčeva zračenja.....	27
5 PRORAČUN ENERGETSKE BILANCE TIPSKE ZGRADE ZA STANJE U 2019. GODINI	28
5.1 Proračun toplinskih gubitaka.....	28
5.1.1 Proračun transmisijskih gubitaka	28
5.1.1 Proračun ventilacijskih gubitaka	29
5.1 Proračun toplinskih dobitaka.....	30
5.1.1 Proračun toplinskih dobitaka od sunčeva zračenja.....	30

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje

6	UKUPNA ENERGETSKA POTROŠNJA ZGRADE ZA 2009. GODINU BAZIRANA NA SATNOM OPTEREĆENJU.....	31
6.1	Potrošnja energije za zagrijavanje tople vode.....	31
6.2	Potrošnja energije za grijanje i hlađenje	34
6.2.1	Toplinsko i rashladno opterećenje	34
6.2.2	Pokrivanje toplinskog i rashladnog opterećenja električnom energijom	36
6.3	Potrošnja energije za rad uređaja	38
7	UKUPNA ENERGETSKA POTROŠNJA ZGRADE ZA 2019. GODINU BAZIRANA NA SATNOM OPTEREĆENJU.....	40
7.1	Toplinsko opterećenje za zagrijavanje tople vode	40
7.2	Toplinsko i rashladno opterećenje	42
7.3	Potrošnja energije za rad uređaja	44
7.3.1	Dizalica topline	45
7.3.2	Fotonaponski paneli za proizvodnju električne energije	49
8	FINANCIJSKA ANALIZA TROŠKOVA GRADNJE	55
8.1	Zgrada u 2009. godini	55
8.2	Zgrada u 2019. godini	57
8.3	Eksterni troškovi	59
9	USPOREDBA DVA SCENARIJA GRADNJE	61
10	ZAKLJUČAK.....	63

POPIS SLIKA

Slika 1 Struktura finalne potrošnje energije u Hrvatskoj

Slika 2 Energetska bilanca zgrade

Slika 3 Struktura potrošnje energije u kućanstvima u Hrvatskoj

Slika 4 Primjer kartice energetskog certifikata za električne uređaje i zgrade

Slika 5 Tlocrt zgrade

Slika 6 Tipska zgrada

Slika 7 Prirodna ventilacija - "efekt dimnjaka"

Slika 8 Struktura dvostruko izolirajućeg stakla s jednim staklom niske emisije (jedna Low-E obloga)

Slika 9 Dijagram dnevne potrošnje tople vode u zgradi

Slika 10 Dijagram dnevne potrošnje toplinske energije za pripremu tople vode

Slika 11 Godišnje toplinsko opterećenje zgrade za 2009. godinu

Slika 12 Godišnje rashladno opterećenje zgrade

Slika 13 Shema dizalice topline u režimu grijanja i hlađenja

Slika 14 Dijagram dnevne potrošnje električne energije u zgradi za karakterističan radni dan

Slika 15 Dijagram dnevne potrošnje električne energije u zgradi tijekom vikenda

Slika 16 Dijagram dnevne potrošnje tople vode u zgradi

Slika 17 Dijagram dnevne potrošnje toplinske energije za pripremu tople vode

Slika 18 Godišnje toplinsko opterećenje za 2019. godinu

Slika 19 Godišnje rashladno opterećenje za 2019. godinu

Slika 20 Dijagram dnevne potrošnje električne energije u zgradi za karakterističan radni dan

Slika 21 Dijagram dnevne potrošnje električne energije u zgradi tijekom vikenda

Slika 22 Shema dizalice topline zrak-voda u režimu grijanja i hlađenja

Slika 23 Primjer ugradnje dizalice topline

Slika 24 Toplinsko opterećenje pokriveno dizalicom topline

Slika 25 Rashladno opterećenje pokriveno dizalicom topline

Slika 26 Fotonaponski sustavi spojeni na mrežu

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje

Slika 27 Krivulja trajanja opterećenja

Slika 28 Ugradnja fotonaponskih panela na krovu zgrade

Slika 29 Odnos godišnje potrošnje i proizvodnje električne energije

Slika 30 Usporedba potrošnje električne energije za 2009. i 2019. godinu

POPIS TABLICA

Tabela 1 Ciljane vrijednosti energijskih brojeva izračunatih za neto korisnu površinu

Tabela 2 Ocjena učinkovitosti potrošnje toplinske energije u zgradi

Tabela 3 Karakteristike klimatizacijskog uređaja

Tabela 4 Karakteristike dizalice topline

Tabela 5 Karakteristike fotonaponskog kolektora

Tabela 6 Trošak za izgradnju strukture ovojnice zgrade za 2009. godinu

Tabela 7 Trošak za ugradnju elemenata na ovojnicu zgrade

Tabela 8 Trošak za ugradnju uređaja za grijanje i hlađenje

Tabela 9 Trošak za izgradnju strukture ovojnice zgrade za 2019. godinu

Tabela 10 Trošak za ugradnju elemenata na ovojnicu zgrade

Tabela 11 Trošak za ugradnju uređaja za grijanje i hlađenje

Tabela 12 Prikaz eksternih troškova

Tabela 13 Emisije CO₂

Tabela 14 Usporedba dva zadana načina gradnje zgrade

Tabela 15 Stanje u 2019. godini u odnosu na 2009. godinu

POPIS OZNAKA

Oznaka	Mjerna jedinica	Naziv
A_{gr}	m^2	- grijana površina
A_i	m^2	- površina na kojoj se odvija izmjena topline
A_p	m^2	- korigirana površina za sunčevo zračenje
$A_{sol,k}$	m^2	- površina na koju pada sunčevo zračenje
$b_{tr,x}$		- korekcijski faktor
$b_{ve,k}$		- faktor smanjenja temperaturne razlike
c_a	J/kgK	- specifični toplinski kapacitet zraka
c_w	J/kgK	- specifični toplinski kapacitet vode
E	kWh/m ²	- ukupni energetski broj
E_b	W/m ²	- direktno zračenje
E_d	W/m ²	- difuzno zračenje
$E_{el,gr}$	kWh	- godišnja potrošnja električne energije za grijanje
$E_{el,hl}$	kWh	- godišnja potrošnja električne energije za hlađenje
$E_{el,PTV}$	kWh	- godišnja potrošnja električne energije za zagrijavanje PTV
$E_{el,uk}$	kWh	- ukupna godišnja potrošnja električne energije
$E_{el,ur}$	kWh	- godišnja potrošnja električne energije za rad uređaja
E_{GR}	kWh/m ²	- energetski broj za grijanje
E_o	kWh/m ²	- energetski broj za ostalu tehničku opremu
E_{PTV}	kWh/m ²	- energetski broj za pripremu tople vode
EM	t	- ukupna emisija CO_2
E_β	W/m ²	- sunčevo zračenje na kosu plohu
F_c		- faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja
F_F		- udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje

F_W		- faktor smanjenja zbog neokomitog upada sunčeva zračenja
g_{\perp}		- stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenja
\bar{H}	kWh/m ²	- srednje satne ukupne ozračenosti
H_A	W/K	- koeficijent transmisijskog gubitka prema susjednoj zgradi
H_D	W/K	- koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu
\bar{H}_d	kWh/m ²	- srednje satne difuzne ozračenosti ravne plohe
H_g	W/K	- koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu
H_{tr}	W/K	- koeficijent transmisijskih toplinskih gubitaka
H_U	W/K	- koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
H_{ve}	W/K	- koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka
\bar{H}_0	kWh/m ²	- izvanatmosferska ozračenost nagnute plohe
$\bar{H}_{0\beta}$	kWh/m ²	- izvanatmosferska ozračenost horizontalne plohe
$I_{sol,k}$	W/m ²	- sunčevo zračenje
n	h^{-1}	- broj izmjena zraka
$Q_{C,gn}$	kWh	- ukupni toplinski dobici u periodu hlađenja
$Q_{C,nd}$	kWh/god.	- godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje
$Q_{C,ht}$	kWh	- ukupni toplinski gubici zgrade u periodu hlađenja
$Q_{C,tr}$	kWh	- transmisijski toplinski gubici zgrade u periodu hlađenja
$Q_{C,ve}$	kWh	- ventilacijski toplinski gubici zgrade u periodu hlađenja
$Q_{H,gn}$	kWh	- ukupni toplinski dobici u periodu grijanja
$Q_{H,nd}$	kWh/god.	- godišnja potrebna toplinska energija za grijanje
$Q_{H,ht}$	kWh	- ukupni toplinski gubici zgrade u periodu grijanja
$Q_{H,tr}$	kWh	- transmisijski toplinski gubici zgrade u periodu grijanja
$Q_{H,ve}$	kWh	- ventilacijski toplinski gubici zgrade u periodu grijanja
$Q_{H,nd,uk}$	kWh/god.	- ukupna godišnja potrebna toplinska energija za grijanje

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje

		prostora i zagrijavanje PTV
$Q_{H,nd,ref}$	kWh/m ² god.	- specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje prostora
Q_{int}	kWh	- unutarnji toplinski dobiti zgrade
Q_{sol}	kWh	- toplinski dobiti od sunčeva zračenja
Q_{PTV}	kWh	- potrebna toplinska energija za zagrijavanje vode
$q_{ve,k}$	m ³ /h	- minimalni higijenski protok zraka
t	h	- trajanje proračunskog razdoblja (satno)
$T_{el,uk}$	kn/god.	- godišnji trošak za zgradu za potrošenu električnu energiju
$T_{el,st}$	kn/mj.	- mjesečni trošak po stanu za potrošenu električnu energiju
U_{krova}	W/m ² K	- koeficijent prolaza topline ravnog krova
U_{poda}	W/m ² K	- koeficijent prolaza topline poda
$U_{proz.}$	W/m ² K	- koeficijent prolaza topline kroz prozore
$U_{vzidova}$	W/m ² K	- koeficijent prolaza topline kroz vanjske zidove
$U_{vanj.vrata}$	W/m ² K	- koeficijent prolaza topline kroz vanjska vrata
V_k	m ³	- volumen grijanog zraka
V_{PTV}	l	- volumen potrošne tople vode
α	°	- kut pod kojim sunčeve zrake upadaju na vodoravnu sunčevu plohu
β	°	- kut nagiba plohe
$\eta_{H,gn}$		- faktor iskorištenja toplinskih dobitaka
$\eta_{C,gn}$		- faktor iskorištenja toplinskih gubitaka
θ	°	- kut između okomice na plohu i upadne zrake Sunca
$\vartheta_{C,int}$	°C	- unutarnja projektna temperatura u periodu hlađenje
ϑ_e	°C	- temperatura vanjskog zraka
$\vartheta_{H,int}$	°C	- unutarnja projektna temperatura u periodu grijanja
ρ_a	kg/m ³	- gustoća zraka
ρ_w	kg/m ³	- gustoća vode
ρ_{tlo}		- koeficijent reflektivnosti

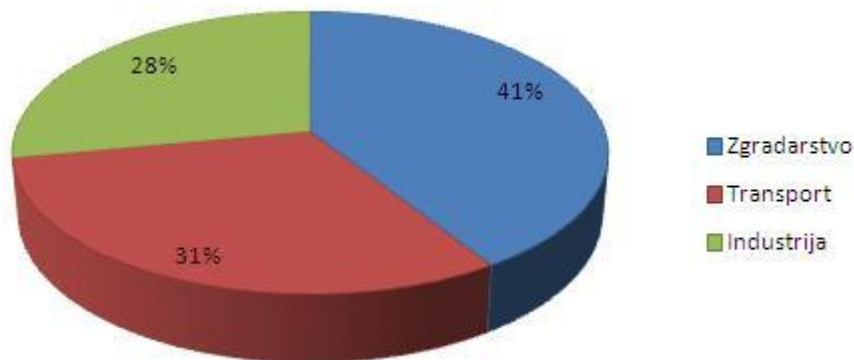
1 UVOD

Energija u svijetu predstavlja jedan od bitnih globalnih problema. Povećana potrošnja energije i korištenje energenata koji zagađuju okoliš i pridonose globalnom zatopljenju potakla su svijest ljudi širom svijeta da pokušaju spriječiti širenje tog problema. Povećanjem broja stanovništva na Zemlji i rastom razvoja zemalja u svijetu dolazi i do povećane potrošnje energije. Osnovni izvor energije na Zemlji trenutno su fosilna goriva (nafta, prirodni plin, ugljen, itd.,...) koja sadrže ugljikohidrate nastale od ostataka biljaka i/ili životinja. Energija iz fosilnih goriva obično se oslobađa izgaranjem, prilikom čega se oslobađaju otrovni i štetni plinovi koji utječu na okoliš u koje spadaju: ugljični monoksid CO, ugljični dioksid CO₂, sumporni dioksid SO₂, dušikovi oksidi NO_x i drugi. Najzastupljeniji među štetnim plinovima je staklenički plin CO₂ koji je najznačajniji uzročnik globalnog zatopljenja. Fosilna goriva su neobnovljivi izvori energije što znači da ne mogu trajati vječno i da će u određenom trenutku biti potrošeni.

Neučinkovita i nepažljiva potrošnja energije uzrokuje nepotrebno veliku proizvodnju, a time i nepotrebno veliki negativni utjecaj na okoliš. Iz tog razloga nastoji se težiti energetske učinkovitosti koja podrazumijeva učinkovitu uporabu energije i određena odricanja, ali ne narušava dosadašnje uvjete življenja i rada, s ciljem da se smanji količina potrošnje energije što automatski povlači za sobom i smanjenje zagađenja okoliša. Zbog svih tih problema nastoji se fosilna goriva zamijeniti obnovljivim izvorima energije kao što su sunčeva energija, energija vjetra, vode, biomasa i drugo. Obnovljivi izvori energije imaju smanjene emisije štetnih plinova u atmosferu i u mnogo manjoj količini zagađuju okoliš, proizvode čistu energiju, neiscrpn su i stalno se obnavljaju u prirodi. Danas se postoje razne strategije i propisi kojima se potiče energetska svijest kod ljudi o potrošnji i čistoj energiji. Tako primjerice i Europska Unija, prema svojoj novoj regulativi, potiče energetske učinkovitost i korištenje obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije. Iznijela je jedinstvenu strategiju energetskog razvoja i ublažavanja klimatskih promjena kojom će Europa postati „nisko ugljično“ gospodarstvo s niskim emisijama stakleničkih plinova.

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje

Među njene ciljeve ubraja se 20% smanjenja stakleničkih plinova, 20% obnovljivih izvora energije u neposrednoj potrošnji, proklamira cilj smanjenja potrošnje energije za 20% i to sve do 2020. godine. Poticanje svijesti ljudi oko korištenja energije i energetske učinkovitosti nastoji se provesti u svim sektorima u kojima se troši velika količina energije. Kućanstva spadaju među velike potrošače energije. Energija koja se potroši u zgradama čini 41% ukupne finalne potrošnje energije u Hrvatskoj i u stalnom je porastu [1-6]



Slika 1 Struktura finalne potrošnje energije u Hrvatskoj

Naime, nagli razvoj stambene izgradnje 50-tih i 60-tih godina rezultirao je izgradnjom velikog broja stambenih objekata koji se danas ubrajaju među velike potrošače energije i gradili su se u vrijeme kada nisu postojali propisi o potrebi toplinske zaštite zgrade. Iz tog razloga se danas nastoji graditi zgrade s većom energetsom učinkovitošću. To se odnosi na povećanje toplinske zaštite postojećih i novih zgrada korištenjem kvalitetnijih materijala s boljom izolacijom, povećanju učinkovitosti sustava grijanja, hlađenja, ventilacije, rasvjete i ostalih energetskih trošila i propisivanju određene vrijednosti ukupne potrošnje zgrade po četvornom metru [1].

Osnovni cilj ovog rada je prikazati smanjenje potrošnje električne energije i opskrbljivanje energijom iz obnovljivih izvora u zgradarstvu. U njemu je opisan jedan takav višestambeni objekt koji spada u skupinu stambenih objekata s nultom neto energetsom potrošnjom i smanjenom emisijom ugljičnog dioksida i naziva se zgrada nulte energije.

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje

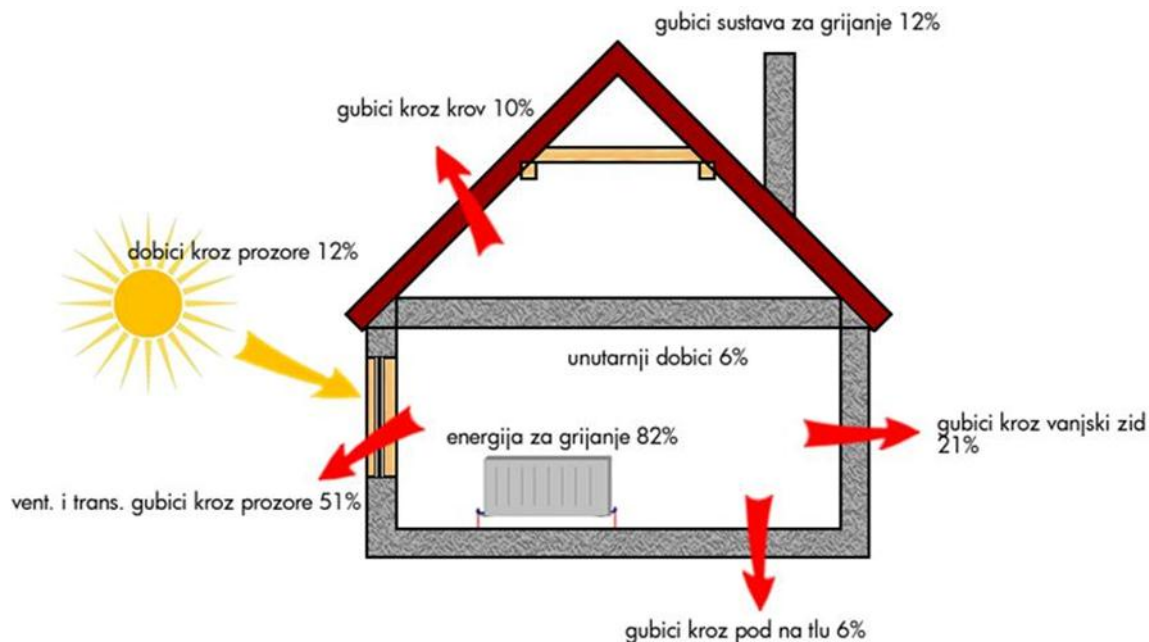
Rad opisuje usporedbu dva scenarija gradnje odabrane tipske zgrade za područje jadranske Hrvatske, točnije grada Dubrovnika. Prvi scenarij uključuje proračun i analizu prema postojećoj regulativi i propisima gradnje, dok drugi scenarij uključuje proračun i analizu prema propisima i regulativi Europske Unije koji će biti na snazi 2019. godine, a koji će uključivati proizvodnju energije iz obnovljivih izvora. Cilj ovog rada je dobiti zgradu s nultom neto energetskom potrošnjom u 2019. godini.

2 POTROŠNJA ENERGIJE U ZGRADAMA

Potrošnja energije u zgradi ovisi o više karakteristika zgrade pod koje spadaju oblik zgrade i konstrukcijski materijali od kojih je građena, o energetskim sustavima u zgradi od sustava grijanja, hlađenja, električnih uređaja, rasvjete i drugi, ali i o klimatskim uvjetima podneblja na kojem se zgrada nalazi [1].

2.1 Energetska (toplinska) bilanca zgrade

Za analizu potrošnje energije u zgradi potrebno je odrediti njenu energetsku bilancu koja podrazumijeva ukupne toplinske gubitke i dobitke zgrade. Na sljedećoj slici dan je prikaz energetske bilance zgrade.

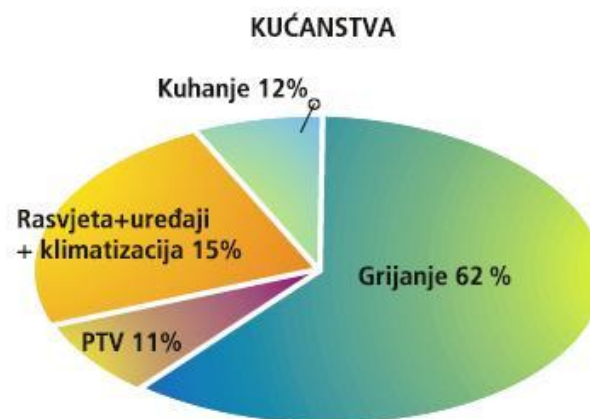


Slika 2 Energetska bilanca zgrade

Kada govorimo o energetskoj bilanci obično se misli na toplinsku bilancu zgrade, odnosno određivanje ukupne potrebne energije da bi se zadovoljile toplinske potrebe zgrade. Potrebe za toplinskom energijom usko su povezane s toplinskim gubicima i dobicima zgrade.

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje

Dok god su toplinski dobici energije dovoljni za pokrivanje toplinskih gubitaka, u zgradi će se održavati željeni uvjeti toplinske ugodnosti. U toplinske gubitke spadaju transmisijski gubici topline koji nastaju prolazom (transmisijom) topline kroz vanjske zidove, odnosno ovojnicu zgrade. Oni ovise o karakteristikama materijala od kojih je ovojnica građena i o debljini toplinske zaštite koja je postavljena na zidove vrata, prozore i ostale objekte koji sačinjavaju ovojnicu zgrade. Osim transmisijskih, u toplinske gubitke još se ubrajaju i ventilacijski gubici, odnosno gubici zbog provjetravanja. Predstavljaju hladan zrak koji kroz zatore prozora i vrata ulazi u prostoriju grijanu na veću temperaturu. Osim toplinskih gubitaka u zgradi imamo i toplinske dobitke koji se dijele na unutarnje i toplinske dobitke od sunčeva zračenja. Unutarnji toplinski dobici uključuju toplinu dobivenu od osoba koje borave u prostoru, kao i od različitih uređaja (primjerice uredska oprema, rasvjeta, kuhinjski uređaji i drugi) koji se u tom prostoru koriste. Toplinski dobici od sunčeva zračenja predstavljaju određenu količinu topline koja se od Sunca prenosi kroz prozirne elemente ovojnice zgrade u prostor. Kada govorimo o ljetnom razdoblju, kada su vanjske temperature dosta visoke i prostore unutar zgrade je potrebno hladiti, onda se toplinski gubici i dobici pretvaraju u toplinsko opterećenje. Oni tada predstavljaju toplinu koju je potrebno iz prostora odvesti kako bi se osigurala toplinska ugodnost u vrućem ljetnom razdoblju. Prema podacima za Hrvatsku, grijanje stambenih objekata sudjeluje preko 50% u ukupnim energetskim potrebama zgrade, što možemo vidjeti i na sljedećoj slici.



Slika 3 Struktura potrošnje energije u kućanstvima u Hrvatskoj

Iz strukture potrošnje energije u kućanstvima u Hrvatskoj vidi se i da se zaključiti da energetske potrebe zgrade uključuju:

- električnu energiju za rasvjetu
- električnu energiju za razne uređaje i ostala trošila u zgradama
- električna energija za pogon ventilatora i pumpi u sustavima grijanja, ventilacije i klimatizacije (GVik sustavi)
- energija za zagrijavanje potrošne tople vode (PTV)
- toplinska energija za grijanje i
- rashladna energija za hlađenje.

Potrošnja energije u zgradi također varira ovisno o klimatskim uvjetima. Udio potrošnje energije u sustavima grijanja može varirati od 30 do 60%, dok u sustavima hlađenja obično varira od 3 do 10% [1,7].

2.2 Energetski razredi i ocjena učinkovitosti potrošnje energije u zgradi

U ukupnu potrošnju energije ubraja se količina energije potrebna za grijanje, hlađenje, potrošnja energije za pripremu potrošne tople vode, kuhanje i razni električni uređaji i rasvjeta. Za određivanje učinkovitosti potrošnje energije u zgradi koristi se indikator energetske učinkovitosti koji predstavlja godišnju potrošnju energije po korisnoj jedinici grijane površine a naziva se energetski broj ili energetska značajka. Energetska značajka označava se s E i izražava se jedinicom kWh/m², prema formuli:

$$E = \frac{Q}{A_{gr}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] \quad (1)$$

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje

Energetska značajka zgrade određuje se kao zbroj svih energijskih brojeva pojedinih sustava zgrade: energijski broj E_{GR} za grijanje prostora, E_{PTV} za pripremu potrošne tople vode i E_O za ostalu tehničku opremu poput rasvjete, kućanskih uređaja, kuhanje i drugi. Ukupni energijski broj je, prema tome, jednak:

$$E = E_{GR} + E_{PTV} + E_O \quad (2)$$

Energetska značajka najčešće se koristi kao energijski broj za grijanje prostora koji služi i za ocjenu energetske učinkovitosti zgrade, iako se potrošnja energije može izraziti i po broju osoba koje borave u prostoru ili po drugim specifičnim čimbenicima koji utječu na potrošnju energije u prostoru. Ciljane vrijednosti energetskih brojeva dane su u sljedećoj tablici [1].

Tabela 1 Ciljane vrijednosti energijskih brojeva izračunatih za neto korisnu površinu

	E_{GR} [$\frac{kWh}{m^2god.}$]	E_{PTV} [$\frac{kWh}{m^2god.}$]	E_O [$\frac{kWh}{m^2god.}$]	E [$\frac{kWh}{m^2god.}$]
Obiteljska kuća	55	25	25	105
Objekt s više stanova	50	20	25	95
Poslovni objekt	45	15	20	80

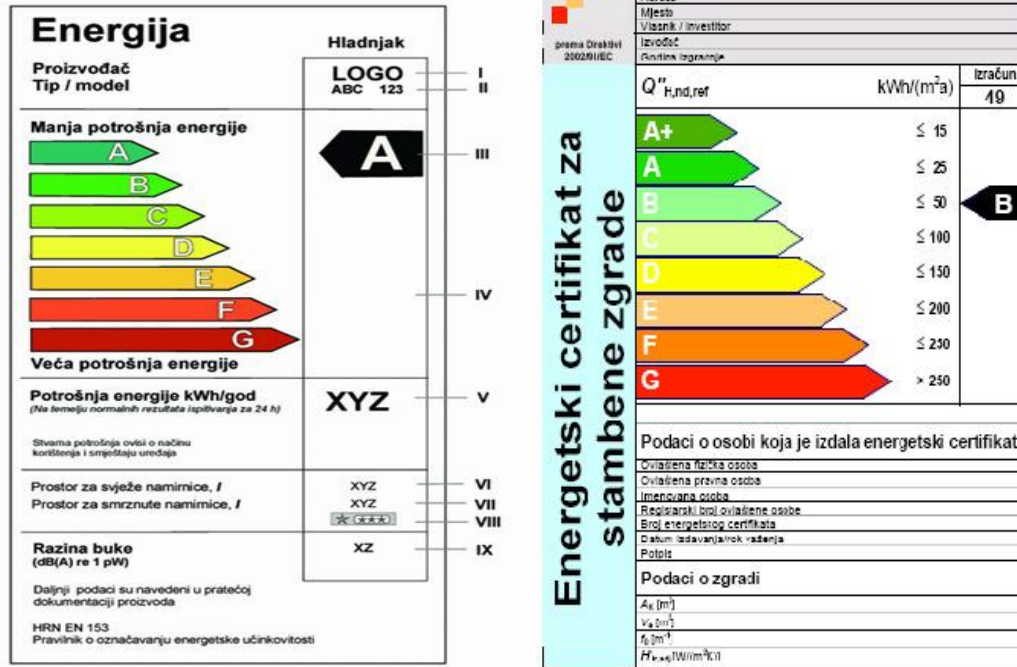
Ukupan energetski broj govori o cjelokupnoj potrošnji energije u zgradi, ali inače se najčešće koristi samo energetski broj za grijanje prostora (E_{GR}) zbog činjenice da toplinska energija za grijanje prostorija sudjeluje preko 50% u ukupnoj potrošnji energije u zgradi. Tako su zgrade podjeljene u energetske razrede s obzirom na ukupnu potrošnju toplinske energije za grijanje za referentne klimatske podatke, svedene na jedinicu ploštine korisne površine zgrade. Tablicu energetskog razreda za stambene zgrade vidimo na sljedećoj slici.

Tabela 2 Ocjena učinkovitosti potrošnje toplinske energije u zgradi

Energetski razred	$Q_{H,nd,net}$ - specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje u kWh/(m ² a)
A+	≤ 15
A	≤ 25
B	≤ 50
C	≤ 100
D	≤ 150
E	≤ 200
F	≤ 250
G	> 250

Energetski razredi podjeljeni su od A+ do G, gdje A+ označava energetski najučinkovitije zgrade s obzirom na potrošnju toplinske energije za grijanje, a G razred označava energetski neučinkovite zgrade [8]. U G razred bi se mogle svrstati zgrade građene 50-tih i 60-tih godina u Hrvatskoj, kod kojih se prilikom gradnje nije pazilo na energetsku učinkovitost pa one danas troše oko 300 kWh/m² godišnje. Današnje zgrade u Hrvatskoj spadaju u C razred i troše do 100 kWh/m². Novijom izgradnjom zgrada teži se ka što energetski učinkovitijim stambenim objektima. Europska Unija je unutar svoje direktive o unapređenju energetske učinkovitosti u zgradarstvu uvela i certificiranje zgrada. Energetski certifikat zgrade predstavlja kartica koja je određena prema energetskim razredima i isto tako predstavlja energetsku učinkovitost zgrade s obzirom na godišnju potrošnju toplinske energije za grijanje. Osim tog certifikata certificirati se mogu i razni uređaji koji također troše električnu energiju, a sve to u cilju što učinkovitije potrošnje energije. Primjer certificiranja zgrada i uređaja dan je na sljedećoj slici. [1,8]

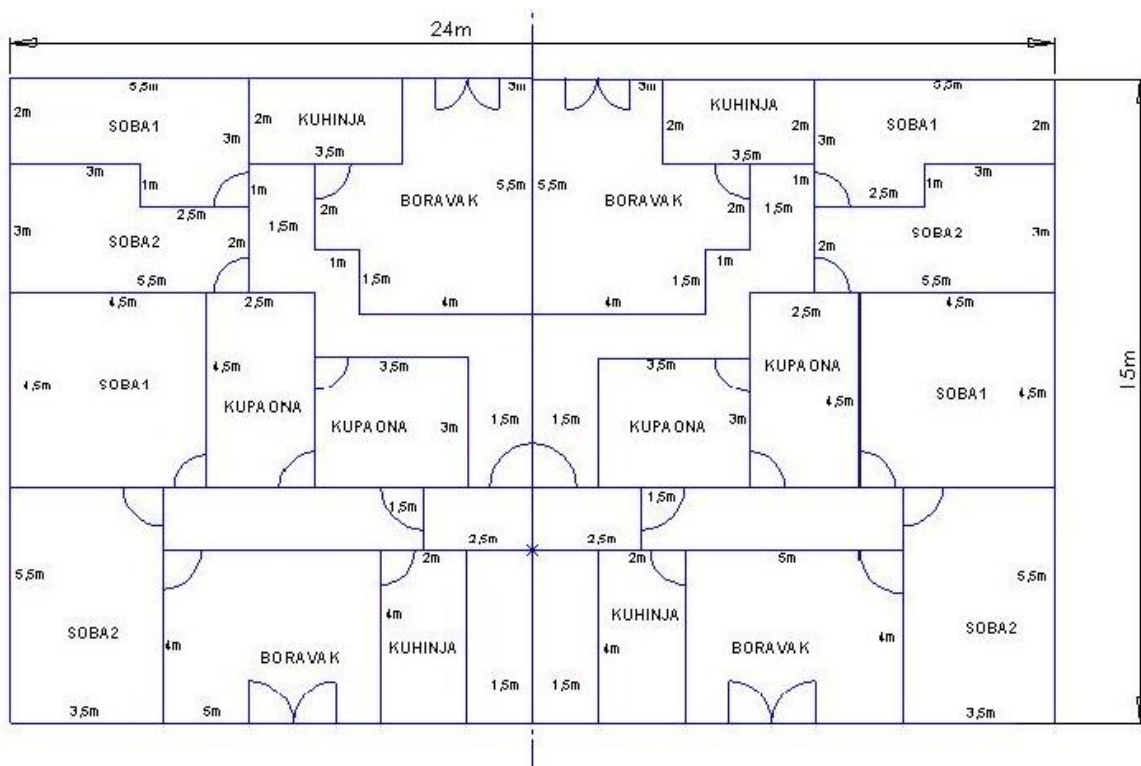
A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje



Slika 4 Primjer kartice energetskog certifikata za električne uređaje i zgrade

3 TIPSKA ZGRADA

U ovom radu analizirana je proizvoljno odabrana i sagrađena zgrada na području jadranske Hrvatske, točnije Dubrovnika. Zadatak je bio odabrati zgradu s minimalnom površinom od 1000 m². Tipaska zgrada u radu ima ukupnu površinu od 1080 m² i sastavljena je u tri etaže (prizemlje i dva kata). Ukupno je dvanaest stanova u zgradi, po četiri stana na svakoj etaži, a svaki stan ima nešto manju površinu od 90m². Svaki stan ima dvije sobe, kuhinju, dnevni boravak i kupaonu.

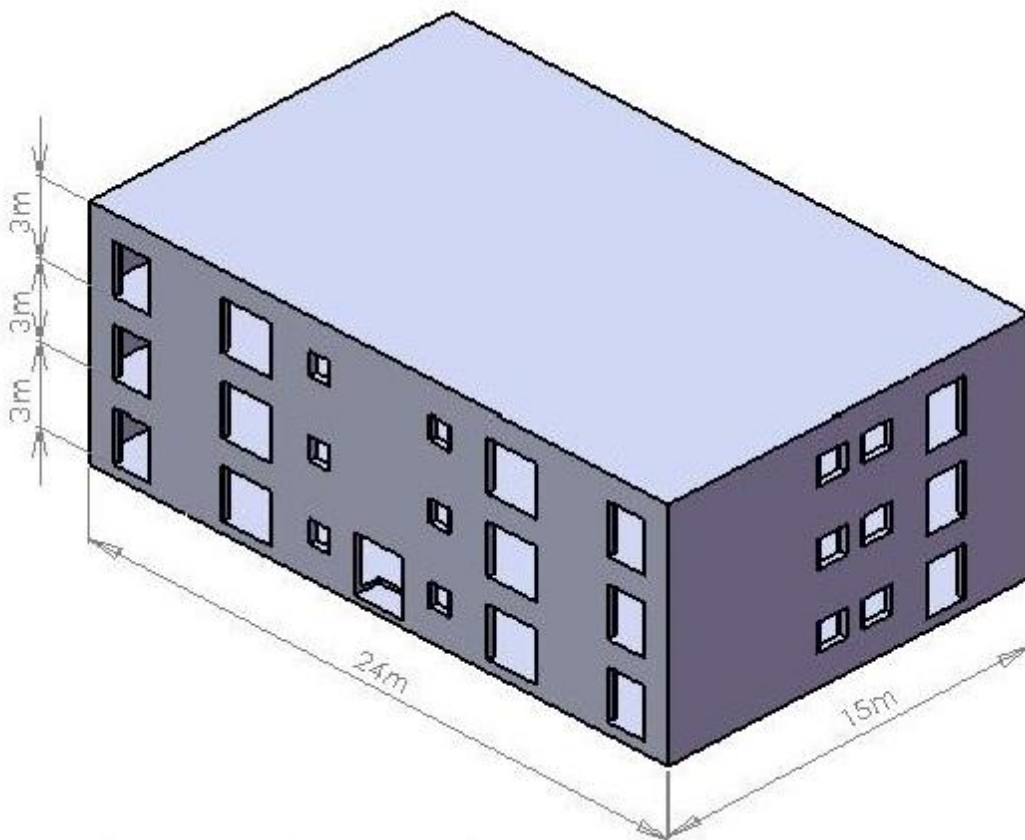


Slika 5 Tlocrt zgrade

Objekt je građen u ambijentu djelomično zaštićenom od vjetrova, odnosno u naseljenom području. Zgrada je visine 9 m i građena je prema dva scenarija i u ovom radu dana je usporedba ta dva načina gradnje. Prvi scenarij uključuje zgradu izgrađenu prema propisima gradnje koji danas vrijede u Hrvatskoj i koji su preuzeti iz Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, („Tehnički propis“), analizu toplinskog opterećenja, električne potrošnje i financijsku analizu.

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje

Za drugi scenarij vrijedi ista ta zgrada samo građena prema propisima i po uzoru na strategiju Europske Unije koji će vrijediti u 2019. godini i njihova usporedba o čemu će više riječi biti kasnije. Pretpostavka je da se sadašnja zgrada grije na električnu energiju koju dobiva iz mreže i kojom se opskrbljuje i ostatak potrošnje energije u zgradi, primjerice za ventilaciju, klimatizaciju i ostale uređaje. Opskrba energijom vrši se distribucijskim sustavom javne opskrbe energijom prema dvotarifnom modelu. U proračunu se zgrada promatrala kao jedna toplinska zona. Pretpostavka je da su sve prostorije grijane na jednaku temperaturu i da nema toplinskih gubitaka između prostorija. Toplinski gubici javljaju se samo na vanjskim zidovima koji su u dodiru s okolišem u kojem je temperatura različita od one u unutrašnjosti zgrade, zbog toga je u proračunu uzeta u obzir samo površina ovojnice zgrade. Sljedeća slika prikazuje model zgrade i dimenzije ovojnice zgrade.



Slika 6 Tipaska zgrada

3.1 Pokrivanje opterećenja i energetske potrošnje zgrade obnovljivim izvorima energije

Pokrivanje energetske potrošnje zgrade obnovljivim izvorima koriste se u zgradama koje nazivamo zgrade nulte potrošnje energije i smanjene emisije CO₂. Nulta-energetska zgrada jest vrsta objekta koji uz pomoć sustava iskorištenja prije svega solarne energije, ali i drugih obnovljivih izvora energije pokriva svu svoju potrošnju tijekom godine. Svu energiju koju zgrada sama proizvede, nju i potroši. Jedini veći novčani izdatak predstavlja investicija u sustave koji generiraju električnu energiju iz obnovljivih izvora. Ona u svojoj suštini nije neovisna o javnim opskrbnim mrežama (prije svega tu se misli na električnu mrežu), no u povoljnim uvjetima ona višak proizvedene električne energije plasira, dok u nepovoljnim uvjetima preuzima energiju iz javne mreže tako da je konačna bilanca poravnata. Zgrada građena prema propisima koji će vrijediti za 2019. godinu trebala bi predstavljati upravo takav tip zgrade.

Da bi se zadovoljila potrošnja električne energije uz smanjenu emisiju ugljičnog dioksida i nultu potrošnju električne energije, kao opcija rješenja odabrana je proizvodnju energije iz sunca. Sustavi koji generiraju električnu energiju iz sunčeve energije nazivaju se fotonaponski paneli. Za pokrivanje toplinskog i rashladnog opterećenja odabrana je dizalica topline zrak-voda. Električna energija potrebna za rad dizalice topline osigurana je proizvodnjom iz fotonaponskih panela. Dizalica topline je osmišljena tako da njen rad zadovoljava potrebe toplinskog opterećenja za grijanje prostora i grijanje potrošne tople vode, kao i za hlađenje prostora. O principu rada i regulaciji fotonaponskih panela i dizalice topline bit će nešto više riječi u sljedećim poglavljima [4, 9].

4 PRORAČUN ENERGETSKE BILANCE TIPSKE ZGRADE ZA STANJE U 2009. GODINI

Energetska bilanca zgrade odnosi se na zadovoljavanje energetskih potreba zgrade koje, kao što je već prije spomenuto, uključuju toplinsku energiju potrebnu za grijanje, rashladnu energiju potrebnu za hlađenje, energiju koja se troši na pripremu tople vode i onu koja je potrebna za rad svih uređaja u kućanstvu. Proračun je rađen prema normi EN ISO 13790 [10] . Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje određuje se prema sljedećoj formuli:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \quad [\text{kWh}] \quad (3)$$

Godišnja potrebna toplinska energija predstavlja razliku toplinskog toka koji se iz zgrade gubi u obliku toplinskih gubitaka ($Q_{H,ht}$) i toplinskog toka kojeg zgrada dobiva iz vanjskih ili unutarnjih izvora, a koji predstavljaju toplinske dobitke zgrade ($Q_{H,gn}$), dok $\eta_{H,gn}$ u formuli predstavlja faktor iskorištenja toplinskih dobitaka. Toplinski gubici i toplinski dobici tijekom ljetnih mjeseci predstavljaju toplinsko opterećenje, odnosno toplinu koju je potrebno odvesti iz prostorije, pa ukupna rashladna energija koja je potrebna da bi ohladila prostor izražava se formulom:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} \quad [\text{kWh}] \quad (4)$$

Ukupna rashladna energija jednaka je razlici toplinskih dobitaka ($Q_{C,gn}$) i toplinskih gubitaka ($Q_{C,ht}$), uz faktor iskorištenja toplinskih gubitaka ($\eta_{C,ls}$). Da bi se odredili toplinski gubici i toplinski dobici zgrade potrebno je odrediti strukturu vanjske ovojnice. Vanjski zidovi ovojnice i ostali elementi koju ju sačinjavaju (prozori i vrata) građeni su i postavljeni prema odredbama „Tehničkog propisa“ koji vrijedi za Hrvatsku u kojem su dane dozvoljene vrijednosti koeficijenata prolaza topline, a oni glase:

- $U_{\text{prozora}} = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{\text{vzida}} = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{\text{poda}} = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{\text{krova}} = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$

- $U_{\text{vanj. vrata}} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ [11].

Proračun je rađen prema normi EN ISO 13790 s navedenim vrijednostima koeficijenta prolaza topline preuzetim iz „Tehničkog propisa“. Da bi se zadovoljili koeficijenti prolaza topline bilo je potrebno i odabrati materijale za izradu ovojnice. Odabrano je da će ovojnica zgrade biti izgrađena od šuplje fasadne opeke od gline debljine 20 mm. Za izolacijski materijal odabran je ekspanzirani polistiren (EPS) debljine 4 cm, a ovojnica je ožbukana vapnenom žbukom debljine 1 cm iznutra i izvana. Na ravnom krovu dodana je polimerna hidroizolacijska traka na bazi PVC-P debljine 3 mm i porobeton debljine 20 cm od kojeg su građeni i podovi. Vrata, prozori i balkonska vrata su odabrani da zadovolje koeficijente prolaza topline. Za tip ostakljenja prozora i balkonskih vrata odabrano je dvostruko izolirajuće staklo (s jednim međuslojem zraka) [11].

4.1 Proračun toplinskih gubitaka

Toplinski gubici dijele se na transmisijske i ventilacijske toplinske gubitke. Za grijanje i hlađenje određuju se prema formulama:

$$Q_{H,ht} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve} = (H_{tr} + H_{ve}) \cdot (\vartheta_{H,int} - \vartheta_e) \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad \text{- grijanje} \quad (5)$$

$$Q_{C,ht} = Q_{C,tr} + Q_{C,ve} = (H_{tr} + H_{ve}) \cdot (\vartheta_{C,int} - \vartheta_e) \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad \text{- hlađenje} \quad (6)$$

- $\vartheta_{H,int} = 20^\circ\text{C}$ – projektna unutarnja temperatura za grijanje,
- $\vartheta_{C,int} = 26^\circ\text{C}$ – projektna unutarnja temperatura za hlađenje,
- ϑ_e – vanjska temperatura
- t – trajanje proračunskog razdoblja (satno)

4.1.1 Proračun transmisijskih gubitaka

Transmisijski gubici topline predstavljaju toplinske gubitke kroz zidove, prozore, vrata, strop i pod i ovise o materijalima od kojih su spomenuti elementi zgrade građeni. Što su debljine materijala veće i što je bolja izolacija to će i gubici biti manji tokom sezone grijanja, odnosno manje opterećenje tijekom sezone hlađenja, a to i jest osnovni cilj kako bi se smanjila potreba za toplinskom i rashladnom energijom. Javljaju se zbog razlika temperatura unutarnjeg prostora u zgradi i vanjskog okoliša, a formula za njihov izračun glasi:

$$Q_{H,tr} = H_{tr}(\vartheta_{H,int} - \vartheta_e)t \quad [\text{kWh}] \quad - \text{grijanje} \quad (7)$$

$$Q_{C,tr} = H_{tr}(\vartheta_{C,int} - \vartheta_e)t \quad [\text{kWh}] \quad - \text{hlađenje} \quad (8)$$

$$H_{tr} = H_D + H_U + H_g + H_A \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{K}} \right] \quad (9)$$

- H_D - koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu
- H_U - koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
- H_g - koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu
- H_A - koeficijent transmisijskog gubitka prema susjednoj zgradi

Za svakog od navedenih koeficijenata vrijedi sljedeća formula:

$$H_x = b_{tr,x} \sum_i A_i U_i \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{K}} \right] \quad (10)$$

U prethodnoj formuli $b_{tr,x}$ predstavlja korekcijski faktor, kojem je vrijednost $b_{tr,x} \neq 1$ ako temperatura s druge strane konstrukcijskog elementa nije jednaka vanjskoj okolišnoj temperaturi, kao što je u slučaju kada prostorija graniči s obližnjim grijanim ili negrijanim prostorom ili u slučaju kada graniči sa tlom. Kada je temperatura s druge strane konstrukcijskog elementa jednaka okolišnoj onda je $b_{tr,x} = 1$. Kako je zgrada promatrana kao jedna toplinska zona, u proračunu su korišteni samo koeficijenti transmisijskog gubitka za ovojnici zgrade od grijanog prostora prema vanjskom okolišu i prema tlu.

4.1.2 Proračun ventilacijskih gubitaka

Ventilacijski gubici predstavljaju hladan zrak zimi ili topli zrak ljeti, koji kroz zatore prozora, balkonskih i ulaznih vrata ulazi u prostoriju. U proračunu je uzeta u obzir prirodna ventilacija (infiltracija) za održavanje higijenskih uvjeta u zgradi, koji prema „Tehničkom propisu“ iznosi $n=0,5$ 1/h, a predstavlja minimalni broj izmjena zraka u jednom satu. Računaju se prema formuli:

$$Q_{H,ve} = H_{ve}(\vartheta_{H,int} - \vartheta_e)t \quad [\text{kWh}] \quad - \text{grijanje} \quad (11)$$

$$Q_{C,ve} = H_{ve}(\vartheta_{C,int} - \vartheta_e)t \quad [\text{kWh}] \quad - \text{hlađenje} \quad (12)$$

$$H_{ve} = \rho_a c_a \sum_k b_{ve,k} q_{ve,k} \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{K}} \right] \quad (13)$$

- $\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3$ – gustoća zraka
- $c_a = 1005 \text{ J/kgK}$ – specifični toplinski kapacitet zraka
- $b_{ve,k}$ – faktor smanjenja temperaturne razlike, u proračunu uzeto da je $b_{ve,k} = 1$ jer je temperatura dobavnog zraka ventilacijom jednaka temperaturi vanjskog okolišnjeg zraka – prirodna ventilacija
- $q_{ve,k}$ – minimalni higijenski protok zraka, a dobiva se sljedećom formulom:

$$q_{ve,k} = V_k n \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (14)$$

- $V_k = 2420 \text{ m}^3$ – korisni volumen, volumen grijanog zraka

4.2 Proračun toplinskih dobitaka

Toplinski dobitci dijele se na unutarnje toplinske dobitke i toplinske dobitke koji kroz prozirne elemente dolaze od sunčeva zračenja, a računaju se prema formulama:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad [\text{kWh}] \quad - \text{grijanje} \quad (15)$$

$$Q_{C,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad [\text{kWh}] \quad - \text{hlađenje} \quad (16)$$

4.2.1 Proračun unutarnjih toplinskih dobitaka

Unutarnji toplinski dobici predstavljaju sve dobitke topline koji se javljaju unutar prostora a ne spadaju u toplinu koju je potrebno dovesti za pokrivanje toplinskih gubitaka. U unutarnje toplinske dobitke spadaju toplinski dobici od rasvjete, raznih uređaja u kućanstvu i osoba koje borave u prostoru. Njihova vrijednost prema „Tehničkom propisu“ uzima se u vrijednosti od 5 W/m².

4.2.2 Proračun toplinskih dobitaka od sunčeva zračenja

Toplinski dobici od Sunčeva zračenja predstavljaju toplinu koja od Sunca dolazi u prostoriju kroz prozirne elemente ovojnice zgrade, a računaju se prema formuli:

$$Q_{sol} = I_{sol,k} A_{sol,k} t \quad [\text{kWh}] \quad (17)$$

- $I_{sol,k}$ – toplinski tok od sunčeva zračenja na površinu građevnog dijela k
- $A_{sol,k}$ – efektivna površina otvora k na koju upada sunčevo zračenje, a računa se prema formuli:

$$A_{sol,k} = F_C \cdot g_{\perp} \cdot F_W \cdot (1 - F_F) \cdot A_p \quad [\text{m}^2] \quad (18)$$

- F_C – faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja, $F_C=1$ za grijanje, $F_C=0,4$ za hlađenje
- $g_{\perp}=0,8$ - stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje
- $F_W=0,9$ – faktor smanjenja zbog neokomitog upada sunčeva zračenja
- $F_F=0,3$ – udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora
- A_p – ukupna površina prozora, $A_{p,s}=50 \text{ m}^2$, $A_{p,i}=19 \text{ m}^2$, $A_{p,j}=58 \text{ m}^2$, $A_{p,z}=19 \text{ m}^2$

5 PRORAČUN ENERGETSKE BILANCE TIPSKE ZGRADE ZA STANJE U 2019. GODINI

Proračun energetske bilance zgrade za 2019. godinu provodi se prema jednakom postupku kao za zgradu u 2009. godini prema normi EN ISO 13790. Cilj scenarija gradnje zgrade, prema propisima koji će vrijediti u 2019. godini, je taj da se dobije zgrada s nultom potrošnjom električne energije i nultom neto emisijom, što podrazumijeva korištenje obnovljivih izvora kao izvora energije. Da bi obnovljivi izvori zadovoljili potrebe zgrade bilo je potrebno smanjiti potrošnju u zgradi od toplinske i rashladne do električne. Zbog tako postavljenih uvjeta uvode se neke promjene u odabiru koeficijenata da bi se zadovoljili postavljeni uvjeti. Proračun se provodi za istu zgradu, jednakih dimenzija uz zadovoljenje uvjeta postavljenih za propise koji će vrijediti u 2019. godini, a koje nalaže direktiva Europske Unije.

5.1 Proračun toplinskih gubitaka

5.1.1 Proračun transmisivskih gubitaka

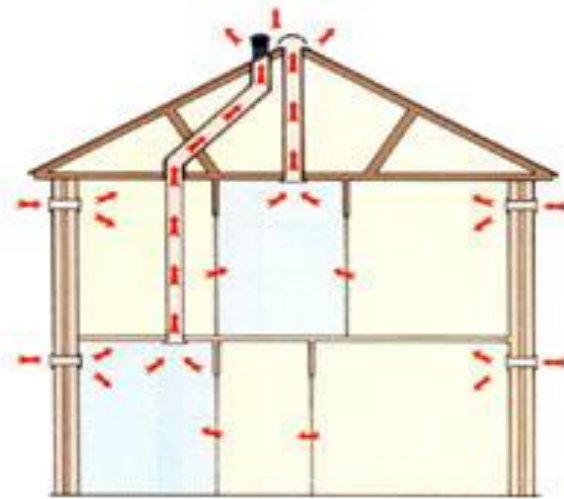
Za smanjenje toplinskog i rashladnog opterećenja potrebno je ovojnicu zgrade graditi poboljšanim građevnim materijalima i povećanom debljinom izolacije. Poboljšanje kvalitete gradnje utječe na smanjenje toplinskih gubitaka koji utječu na smanjenje toplinskog opterećenja zgrade u sezoni grijanja, kao i na smanjenje toplinskih dobitaka koji utječu na smanjenje rashladnog opterećenja tijekom sezone hlađenja. Smanjenje opterećenja grijanjem i hlađenjem prostora utječe također i na smanjenje potrošnje električne energije. Da bi se poboljšala kvaliteta gradnje odabrane su nove vrijednosti koeficijenta topline koje su manje od onih u prethodnom scenariju:

- $U_{prozora} = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{vzida} = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{poda} = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

- $U_{krova} = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{vanj. vrata} = 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ [8].

5.1.1 Proračun ventilacijskih gubitaka

Zbog kvalitetnije gradnje u odnosu na 2009. godinu, zgrada u 2019. godini imat će manje koeficijente prolaza topline. Uzrok tome je povećana debljina izolacije i odabir kvalitetnijih prozora i vrata. Takva gradnja odražava se i na ventilacijske gubitke jer smanjuje prolaz zraka kroz zazorke prozora i vrata. Broj izmjena zraka u tom slučaju iznosi oko $n=0,1 \text{ 1/h}$ što nije dovoljno da bi se zadovoljio minimalni broj izmjena zraka za održavanje higijenskih uvjeta, a koji iznosi $n=0,5 \text{ 1/h}$. Zbog toga je bilo potrebno ugraditi sustav kanala za dobavu zraka koji radi na principu prirodne ventilacije i još se naziva „efekt dimnjaka“. Strujanje zraka kroz zgradu omogućeno je razlikom unutrašnje temperature i temperature vanjskog okoliša. Zrak veće temperature ima manju gustoću pa struji prema gore. Kada je unutrašnji zrak topliji od vanjskog, gornji dio zgrade je u potlaku, a gornji u pretlaku prema okolišu. Primjer razvoda kanala za ventilaciju dat je na sljedećoj slici.



Slika 7 Prirodna ventilacija - "efekt dimnjaka"

5.1 Proračun toplinskih dobitaka

Kod proračuna toplinskih dobitaka do promjena dolazi se u proračunu toplinskih dobitaka od sunčeva zračenja dok su unutarnji toplinski dobici ostali isti.

5.1.1 Proračun toplinskih dobitaka od sunčeva zračenja

Kod proračuna toplinski dobitaka od sunčeva zračenje bilo je potrebno izmjeniti koeficijente koji se odnose na odabir ostakljenja. Za ovaj scenarij oni iznose:

- F_C – faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja, $F_C=1$ za grijanje, $F_C=0,3$ za hlađenje
- $g_L=0,5$ - stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje [8].

Da bi se zadovoljili novi koeficijenti prolaza topline potrebno je pojačati debljinu izolacije vanjske ovojnice zgrade. Nova gradnja uključuje povećanje debljine stiropora koji predstavlja izolaciju vanjskih zidova, sa 5 na 8 cm. Tip ostakljenja za prozore i balkonska vrata je dvostruko izolirajuće staklo s jednim staklom niske emisije (jedna Low-E obloga). Low-E obloga na izo staklu je obloga od metalnog oksida koja propušta zračenje kratkih valova, a reflektira duge valove. Stoga, ako želimo spriječiti ulazak sunčeve topline i uz to osigurati upad sunčeve svjetlosti, metalnu oblogu treba postaviti na unutrašnjoj strani izo stakla.



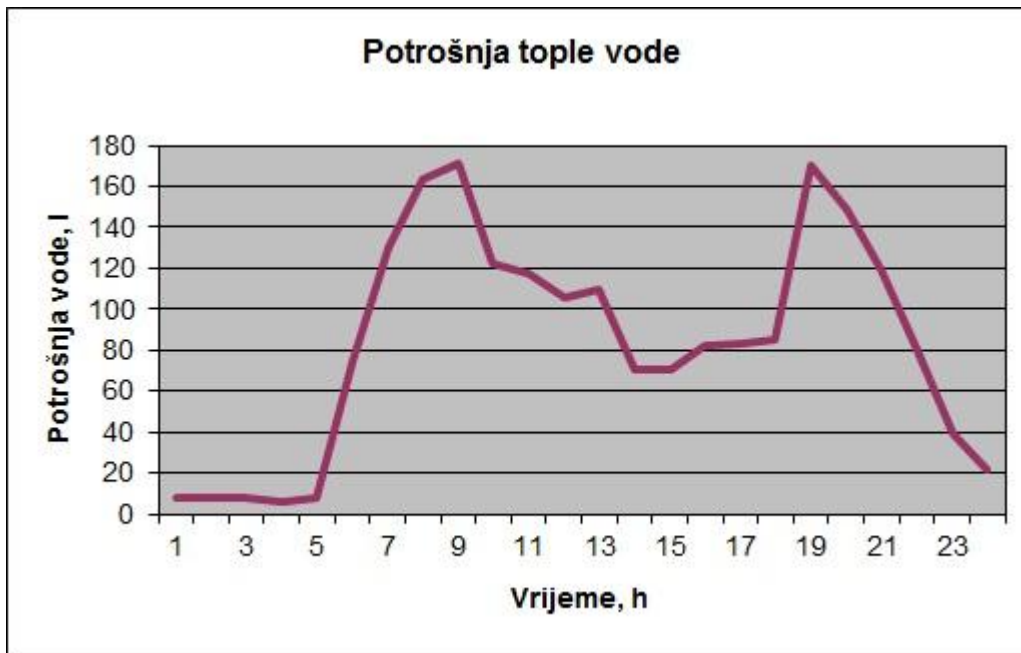
Slika 8 Struktura dvostruko izolirajućeg stakla s jednim staklom niske emisije (jedna Low-E obloga)

6 UKUPNA ENERGETSKA POTROŠNJA ZGRADE ZA 2009. GODINU BAZIRANA NA SATNOM OPTEREĆENJU

Godišnja potrošnja električne energije zgrade određena je prema godišnjem satnom opterećenju zgrade i predstavlja ukupnu energetska potrošnju. U ukupnu energetska potrošnju spada električna energija potreba za zagrijavanje tople vode, za rad uređaja za grijanje i hlađenje i za rad ostalih uređaja i rasvjete. Kao što je već prije spomenuto, opskrba zgrade energijom vrši se distribucijskim sustavom javne opskrbe energijom prema dvotarifnom modelu. Cijena više tarife iznosi 0,7439 kn/kWh, a niže tarife 0,3769 kn/kWh [12].

6.1 Potrošnja energije za zagrijavanje tople vode

Osim toplinske energije koja se troši na zagrijavanje prostora, u ukupnu potrošnju toplinske energije spada i ona energija koja se troši na zagrijavanje tople vode. U Hrvatskoj u prosjeku jedna osoba potroši oko 140 do 150 l dnevno, a jedna trećina od toga potroši se na održavanje higijene što se odnosi na potrošnju tople vode. Može se reći da prosječna potrošnja tople vode po stanovniku dnevno iznosi 50 l [13]. Uzimajući taj podatak u obzir i proizvoljno odabran podatak da u tipskoj zgradi živi 40 stanara, dobivena je ukupna dnevna potrošnja tople vode u jednom danu koja je prikazana u sljedećem dijagramu.



Slika 9 Dijagram dnevne potrošnje tople vode u zgradi

Dijagram prikazuje dnevnu potrošnju tople vode za cijelu zgradu. Vidi se da je najveća potrošnja vode u jutarnjim satima kada se ljudi spremaju na posao, zatim kreće lagani pad sve dok ponovno potrošnja ne poraste kada se ljudi vraćaju s posla i u kasnim popodnevним i večernjim satima imamo veću potrošnju tople vode. Ovisno o količini potrošene tople vode mijenja se i snaga toplinskog opterećenja za zagrijavanje vode. Toplina potrebna za zagrijavanje vode dobiva se prema sljedećem izrazu:

$$Q_{PTV} = V_{PTV} c_w \rho_w \Delta \vartheta t \quad [\text{kWh}] \quad (19)$$

- $V_{PTV} = 50 \text{ l}$ – volumni protok vode
- $c_w = 4187 \text{ J/kgK}$ – specifični toplinski kapacitet vode
- $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ – gustoća vode
- $\Delta \vartheta = 31,5 \text{ K}$ – razlika temperatura na ulazu i izlazu iz sustava

Za određivanje energetske bilance zgrade bitan je dijagram potrošnje toplinske energije u zgradi pa se njega uzima u obzir. On nam daje podatak koliko se dnevno toplinske energije troši na

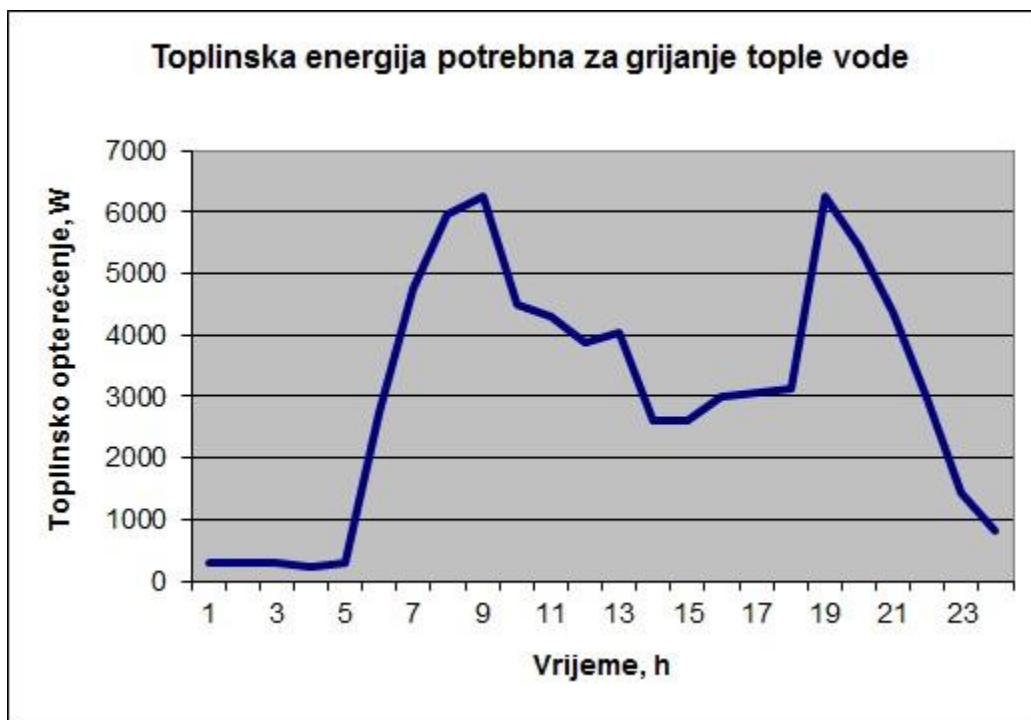
zagrijavanje tople vode. Na sljedećoj slici prikazan je dijagram dnevne potrošnje toplinske energije za zagrijavanje tople vode.

Normalno je da će se dijagram potrošnje energije mijenjati ovisno o razdobljima u godini (ljetno i zimsko) i s obzirom na radne dane i vikende, ali radi pojednostavljenja proračuna uzeto je da se taj dijagram ponavlja svaki dan u godini. Godišnja potrošnja toplinske energije za PTV iznosi:

$$Q_{PTV}=26800 \text{ kWh/god.}$$

Za grijanje PTV odabran je električni bojler obujma 80 l i snage grijača 2000 W. Potrošnja električne energije za rad bojler iznosi:

$$E_{el,PTV}=29\,763 \text{ kWh/god.}$$



Slika 10 Dijagram dnevne potrošnje toplinske energije za pripremu tople vode

6.2 Potrošnja energije za grijanje i hlađenje

6.2.1 Toplinsko i rashladno opterećenje

Izradom proračuna dobiveni su konačni rezultati opterećenja i potrošnje stambenog objekta za 2009. godinu. Potrebna toplinska energija za grijanje i rashladna energija za hlađenje iznose:

$$Q_{H,nd}=15\,560 \text{ kWh/god.}$$

$$Q_{C,nd}=37\,000 \text{ kWh/god.}$$

Kod proračuna energetske bilance zgrade više pažnje posvećuje se toplinskom opterećenju za grijanje stambenih prostora iz razloga što ono zauzima preko 50% ukupne potrošnje u zgradama. Taj podatak je uzet u prosjeku za cijelu Hrvatsku. Kako je ovdje riječ o jadranskoj Hrvatskoj, odnosno Dubrovniku, situacija je nešto drugačija, kao što se vidi iz dobivenih rezultata. Potreba za toplinskom energijom za grijanje prostora manja je od potrebe za rashladnom energijom, a uzrok tome su vanjski klimatski uvjeti. Dubrovnik je geografski smješten na samom jugu jadranske Hrvatske gdje su zime blage i ljeta prilično vruća pa nisu potrebne velike količine energije za grijanje. Potrebna rashladna energija je nešto veća od ogrjevnice ali i dalje nije visoka. Srednja mjesečna temperatura najhladnijeg mjeseca u godini ne pada ispod 3°C. Sve te činjenice imale su utjecaj na dobivene rezultate. Ukupno toplinsko opterećenje za zgradu čine zajedno toplinsko opterećenje za grijanje i toplinsko opterećenje za pripremu potrošne tople vode, a ono iznosi:

$$Q_{H,nd,uk}=42\,350 \text{ kWh/god.}$$

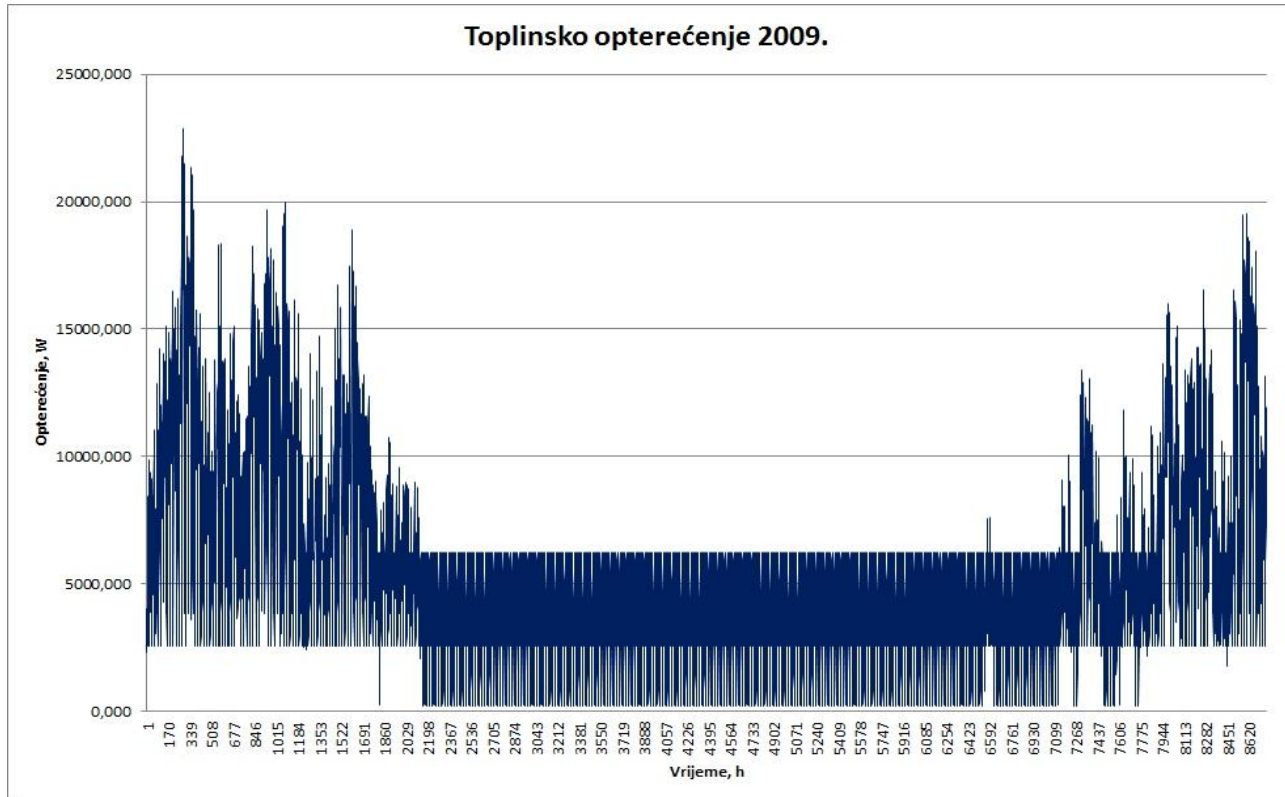
Potrebno je još izračunati specifičnu godišnju potrebnu toplinsku energiju za grijanje, prema čijoj se veličini određuje energetski razred zgrade. Za promatranu zgradu ona iznosi:

$$Q_{H,nd,ref}=14,58 \text{ kWh/m}^2\text{god.}$$

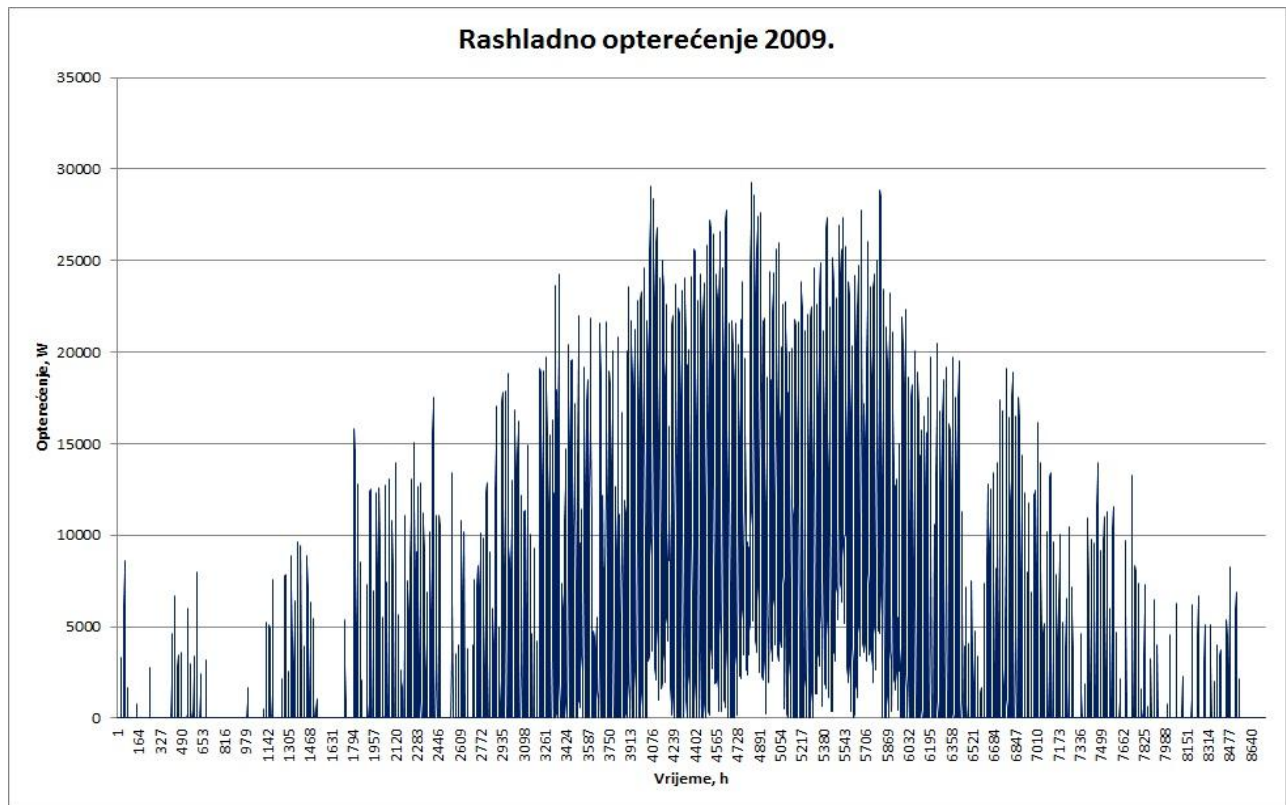
Prema dobivenom rezultatu potrebne specifične toplinske energije za grijanje i prema tablici koja prikazuje podjelu zgrada na razrede, prikazane u tablici 2, može se zaključiti da zgrada spada u razred A+.

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje

A+ razred označava energetski najučinkovitije stambene objekte sa specifičnom potrošnjom godišnje toplinske energije za grijanje manjom od 15 kWh/m² godišnje. Na sljedećim slikama dan je prikaz toplinskog i rashladnog opterećenja za 2009. godinu.



Slika 11 Godišnje toplinsko opterećenje zgrade za 2009. godinu



Slika 12 Godišnje rashladno opterećenje zgrade

6.2.2 Pokrivanje toplinskog i rashladnog opterećenja električnom energijom

Satno opterećenje za grijanje i hlađenje određeno je proračunom energetske bilance zgrade i predstavlja potrebnu toplinsku i rashladnu energiju za zgradu. Ukupna potrošnja električne energije za grijanje i hlađenje bazirana na toplinskom satnom opterećenju iznosi:

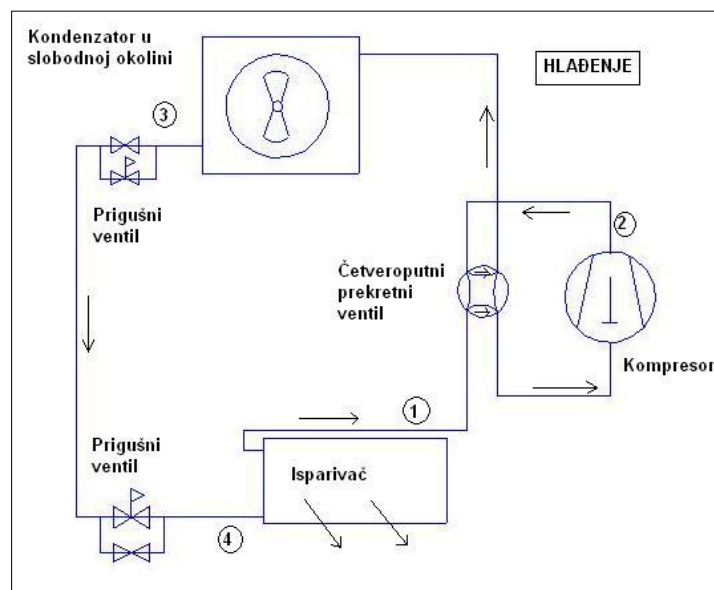
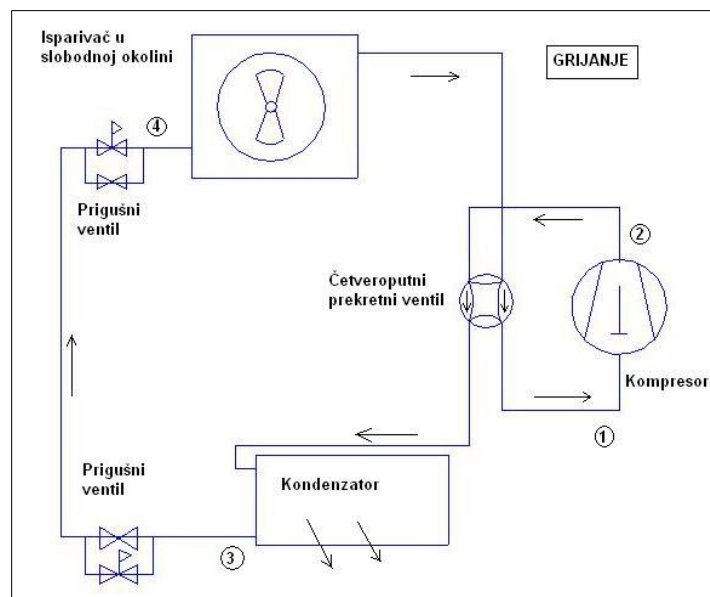
$$E_{el,gr}=4\,278,2 \text{ kWh/god.}$$

$$E_{el,hl}=11\,220,7 \text{ kWh/god.}$$

Prema potrošnji električne energije da se zaključiti da se na području Dubrovnika troši više energije na hlađenje nego na grijanje. Za grijanje i hlađenje odabran je split-sistem uređaj čije su karakteristike dane u sljedećoj tablici. U svaki stan ugrađen je jedan takav uređaj što je dovoljno da se pokrije ukupna potrošnja.

Tabela 3 Karakteristike klimatizacijskog uređaja

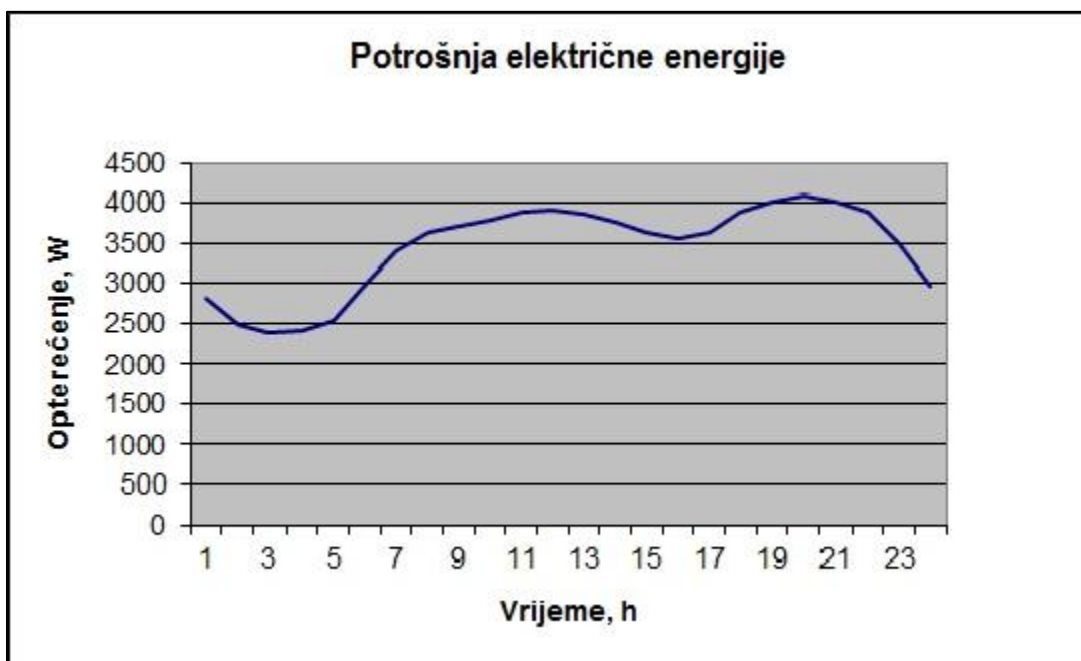
Uređaj	Kapacitet hlađenje (kW)	Kapacitet grijanja (kW)	EER	COP	Cijena
INVERTER RAS-107SKV-E/RAS-107SAV-E	2,5 (1,1-3,0)	3,2 (0,9-4,1)	3,29	3,68	5514,09 kn



Slika 13 Shema dizalice topline u režimu grijanja i hlađenja

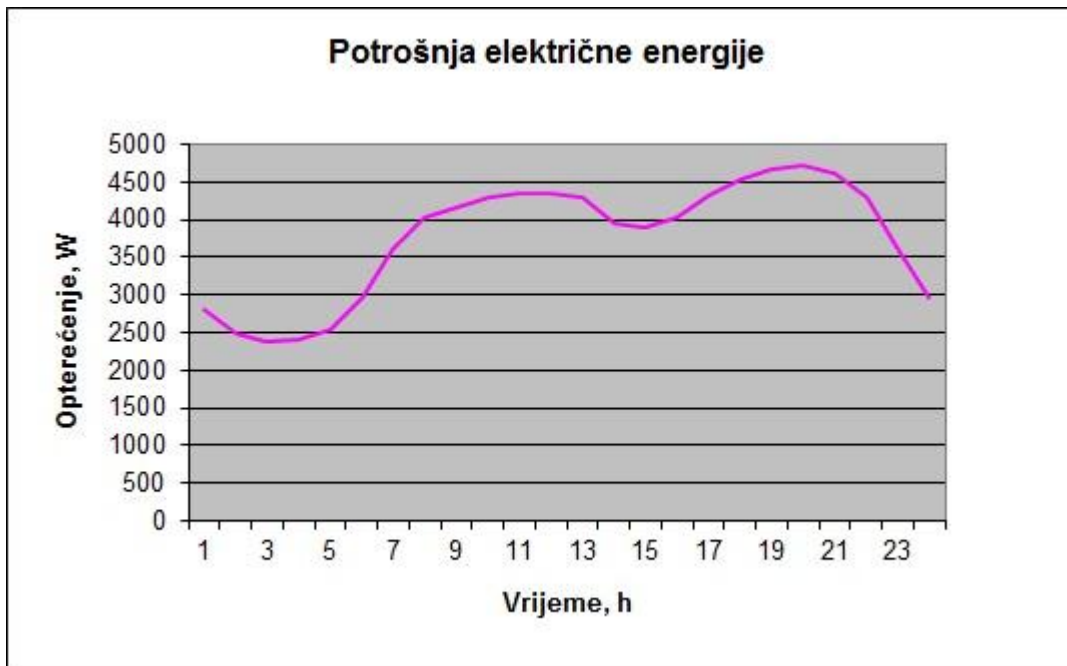
6.3 Potrošnja energije za rad uređaja

Za potrošnju električne energije u zgradi bilo je potrebno odrediti broj i vrstu uređaja koji se nalaze u pojedinom stanu u zgradi i snagu svakog uređaja[14]. Potrošnja energije ovisit će o paljenju uređaja i vremenu njihova korištenja. Na temelju tih podataka i proizvoljno odabranog broja i vrsti uređaja praćena je potrošnju električne energije u zgradi u trajanju od 24 sata za radni dan, a rezultat je dan u sljedećem dijagramu.



Slika 14 Dijagram dnevne potrošnje električne energije u zgradi za karakterističan radni dan

Potrošnja električne energije nije jednaka tijekom dana, kao što se vidi iz dijagrama. Tijekom noći se u zgradi troši minimalno energije jer ljudi tada spavaju. Koristi se minimalan broj uređaja, većinom oni koji inače rade cijelo vrijeme (primjerice hladnjak). U jutarnjim satima imamo značajan porast potrošnje koja tijekom dana varira, ali ne puno. Najveća je potrošnja u večernjim satima. Vikend je nešto drugačiji od radnog dana. Tim danima većina ljudi ne radi pa više vremena provode kod kuće i povećana je potrošnja električne energije.



Slika 15 Dijagram dnevne potrošnje električne energije u zgradi tijekom vikenda

Iako je potrošnja vikendom veća krivulja u dijagramu nije se značajno promjenila samo je u pojedinim satima tijekom dana potrošnja nešto veća. Ukupna godišnja potrošnja električne energije uređaja iznosi:

$$E_{el,ur}=30\,982,5 \text{ kWh/god}$$

Novčanu potrošnju energije zgrade računamo po dvotarifnom modelu. Radi pojednostavljenja proračuna uzeta je prosječna cijena električne energije između dvije tarife koja iznosi 0,63 kn/kWh. Ukupna potrošnja električne energije zgrade jednaka je potrošnji električne energije za grijanje i hlađenje, za zagrijavanje tople vode i rad ostalih uređaja i rasvjete. Ukupna godišnja potrošnja energije za zgradu iznosi:

$$E_{el,uk}=75\,284,4 \text{ kWh/god.}$$

Godišnji trošak za ukupnu potrošenu električnu energiju u kunama iznosi $T_{el,uk}=47\,429 \text{ kn/god.}$, a mjesečni trošak za svaki stan pojedinačno iznosi $T_{el,st}=329,4 \text{ kn/mj.}$

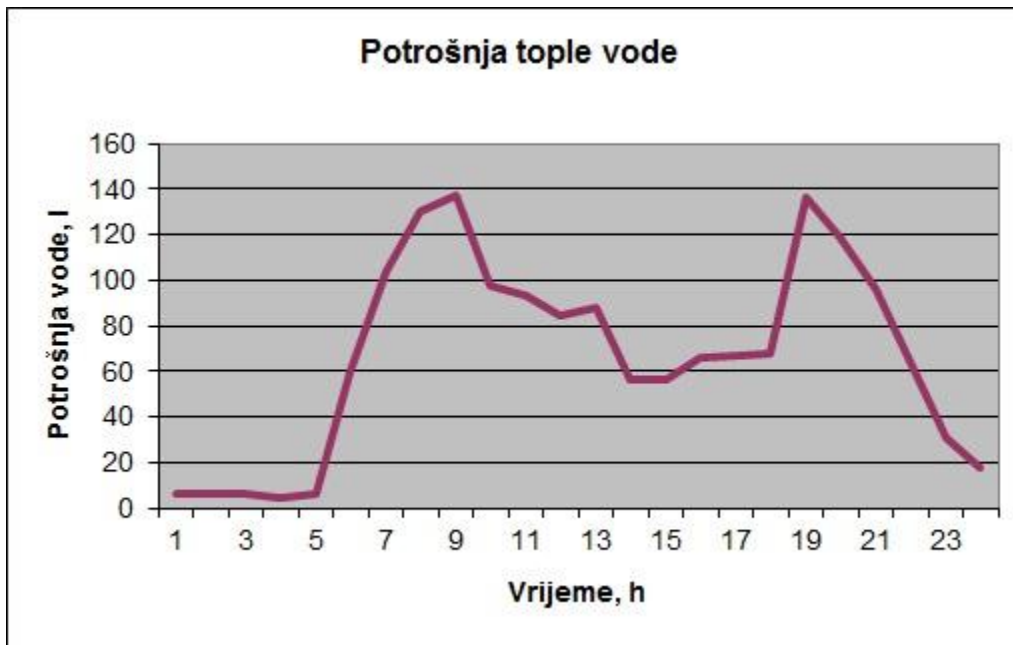
7 UKUPNA ENERGETSKA POTROŠNJA ZGRADE ZA 2019. GODINU BAZIRANA NA SATNOM OPTEREĆENJU

Ukupna energetska potrošnja zgrade bazirana na satnom opterećenju uključuje potrošnju energije za grijanje i hlađenje zgrade, zagrijavanje tople vode i za rad ostalih uređaja u kućanstvu. Za zadovoljavanje energetske potrošnje bilo je potrebno odabrati određeni izvor energije koji spada u obnovljive izvore energije, da bi se u isto vrijeme zadovoljili i ciljevi za nultom potrošnjom energije i smanjenom emisijom ugljičnog dioksida. Za zadovoljavanje potreba grijanja i hlađenja zgrade odabrana je dizalica topline zrak-voda. Potrebnu električnu energiju za rad dizalice topline kao i za rad ostalih uređaja u zgradi, dobavljati će se iz sunčeve energije koju apsorbiraju fotonaponski paneli postavljeni na krovu zgrade i pretvaraju je u električnu energiju. O tome će nešto više riječi biti u sljedećem poglavlju.

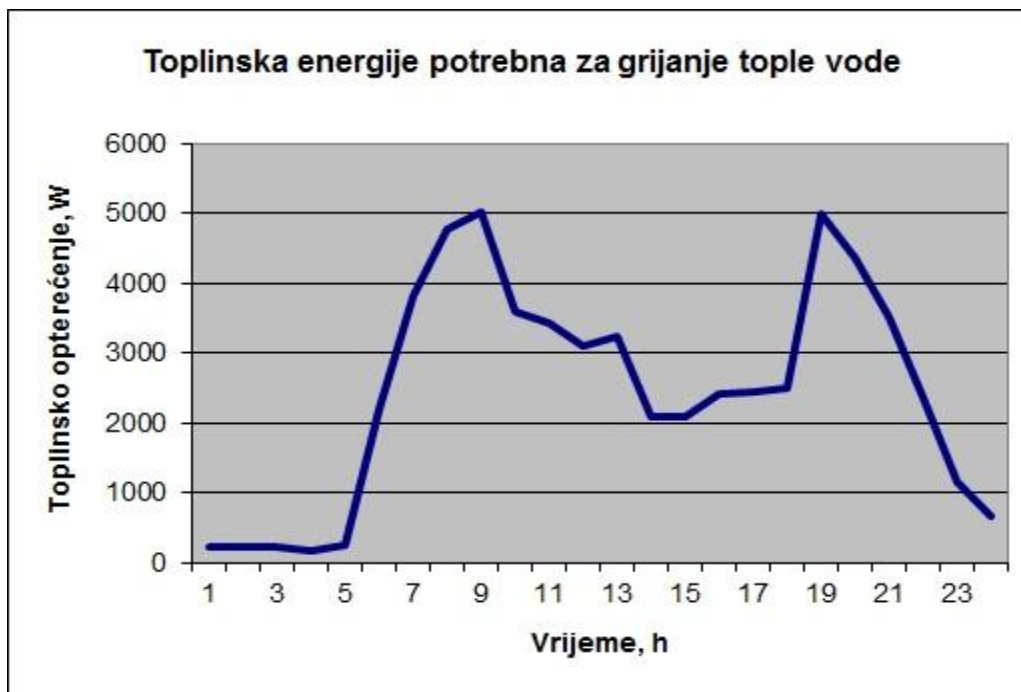
7.1 Toplinsko opterećenje za zagrijavanje tople vode

Pretpostavlja se da će potrošnja tople vode u 2019. godini biti 20 % manja od potrošnje u 2009. godini. Razlog tome je sve brži rast razvoja tehnologije koja uvjetuje proizvodnju kvalitetnijih slavina i tuševa koji smanjuju potrošnju vode. Na jednostavne se armature umjesto obične glave za slavinu može dodati ventili za štednju vode koji pomoću kugle vrlo brzo otvaraju i zatvaraju mlaz te ga ograničavaju na nužan minimum. Razni raspršivači ugrađeni u armature miješaju mlaz vode na slavini s priličnom količinom zraka tako da se uopće ne primjećuje da zapravo teče znatno manja količina vode koja je za pranje dovoljna [15]. Korištenjem novih štednih naprava za smanjenje potrošnje tople vode, potrošnja se smanjila za 20 %. Dnevna potrošnja vode po osobi iznosi 40 l što dnevno iznosi 1 600 l za zgradu. U dijagramu je prikazana dnevna potrošnja tople vode koja je manja nego u 2009. godini, ali krivulja potrošnje je ostala ista zbog toga što se navike ljudi nisu mijenjale s obzirom na stanje u 2009. godini. Toplinska energija potrebna za grijanje potrošne tople vode iznosi:

$$Q_{PTV}=21\,430\text{ kWh/god.}$$



Slika 16 Dijagram dnevne potrošnje tople vode u zgradi



Slika 17 Dijagram dnevne potrošnje toplinske energije za pripremu tople vode

7.2 Toplinsko i rashladno opterećenje

Toplinsko opterećenje za grijanje i rashladno opterećenje za hlađenje zgrade za novi scenarij iznose:

$$Q_{H,nd}=10\,872 \text{ kWh/god}$$

$$Q_{C,nd}=24\,928 \text{ kWh/god}$$

Kako pod toplinsko opterećenje spada i zagrijavanje potrošne tople vode (PTV), onda možemo reći da ukupno toplinsko opterećenje zgrade iznosi:

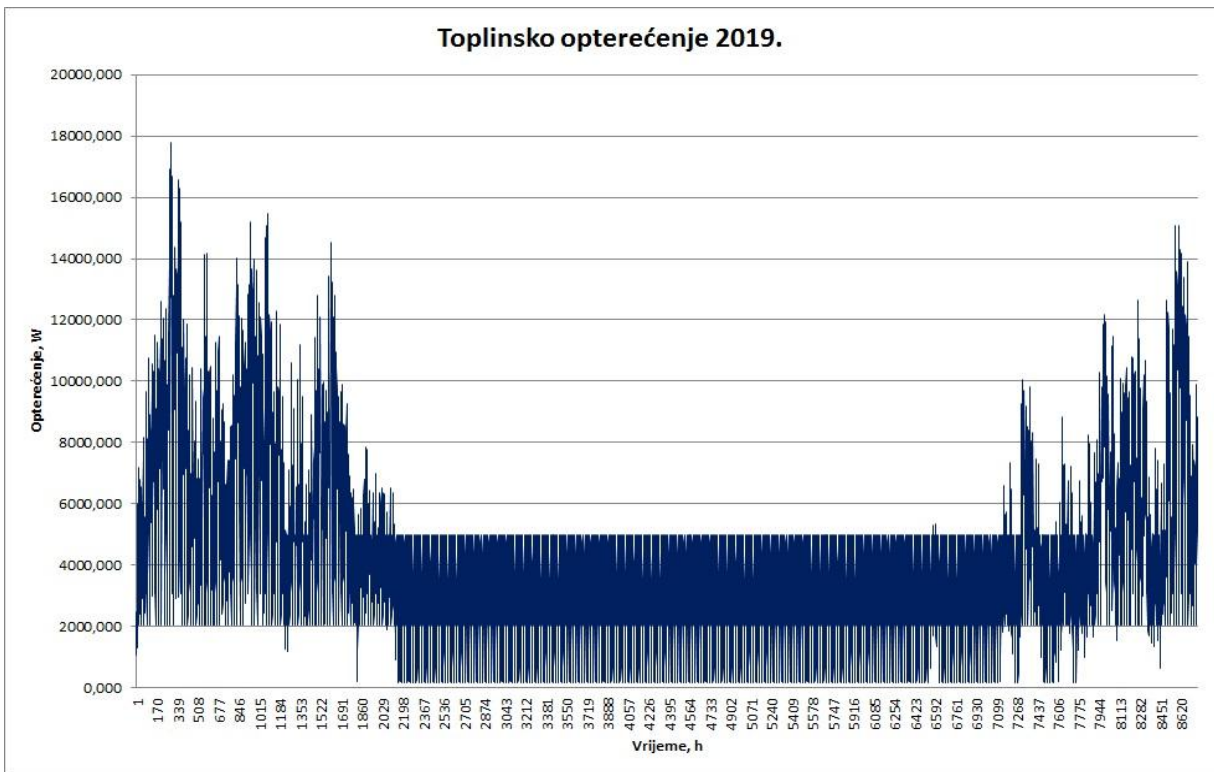
$$Q_{H,nd,uk}=32\,302 \text{ kWh/god}$$

Potrebno je još izračunati specifičnu godišnju potrebnu toplinsku energiju za grijanje, prema čijoj se veličini određuje energetski razred zgrade, a ona iznosi:

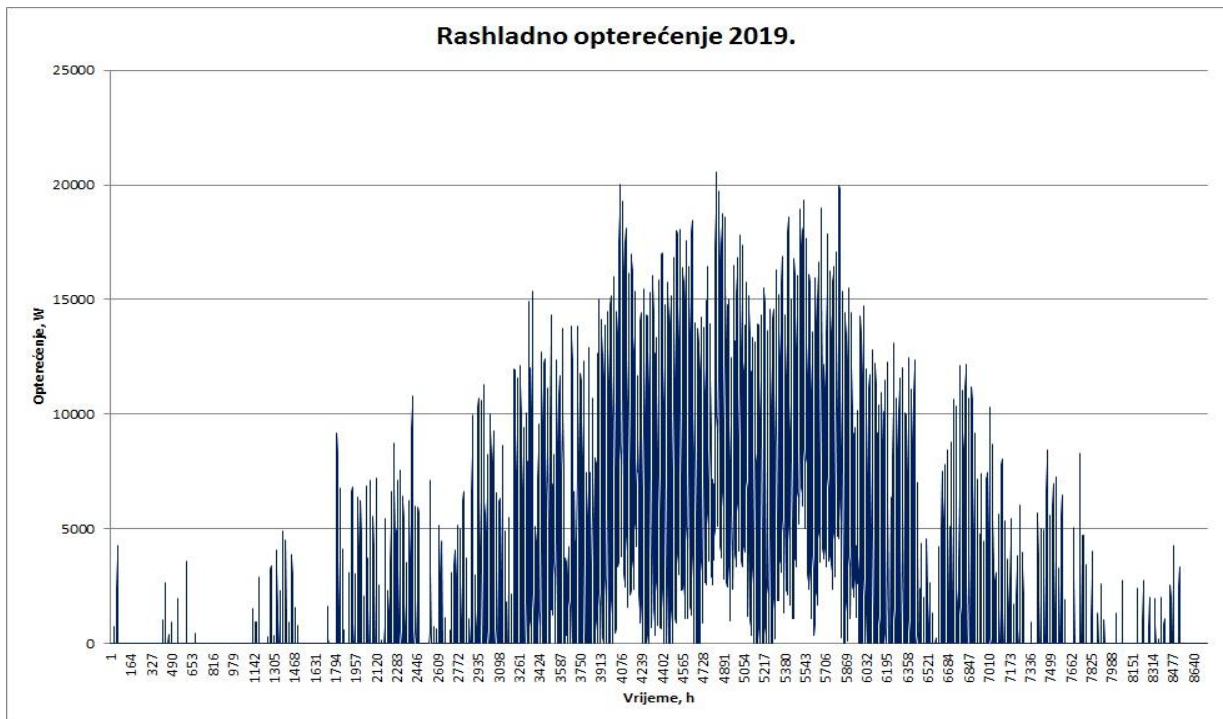
$$Q_{H,nd,ref}=10,07 \text{ kWh/m}^2\text{god}$$

Prema dobivenim rezultatima može se zaključiti da je poboljšanom kvalitetom gradnje dobiveno manje toplinsko i rashladno opterećenje što utječe i na smanjenje potrebne energije za pokrivanje danih opterećenja. Dobivena vrijednost specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje također je manja od one vrijednosti dobivene u prvom scenariju gradnje. Na sljedećim slikama dani su dijagrami toplinskog i rashladnog godišnjeg opterećenja.

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje



Slika 18 Godišnje toplinsko opterećenje za 2019. godinu

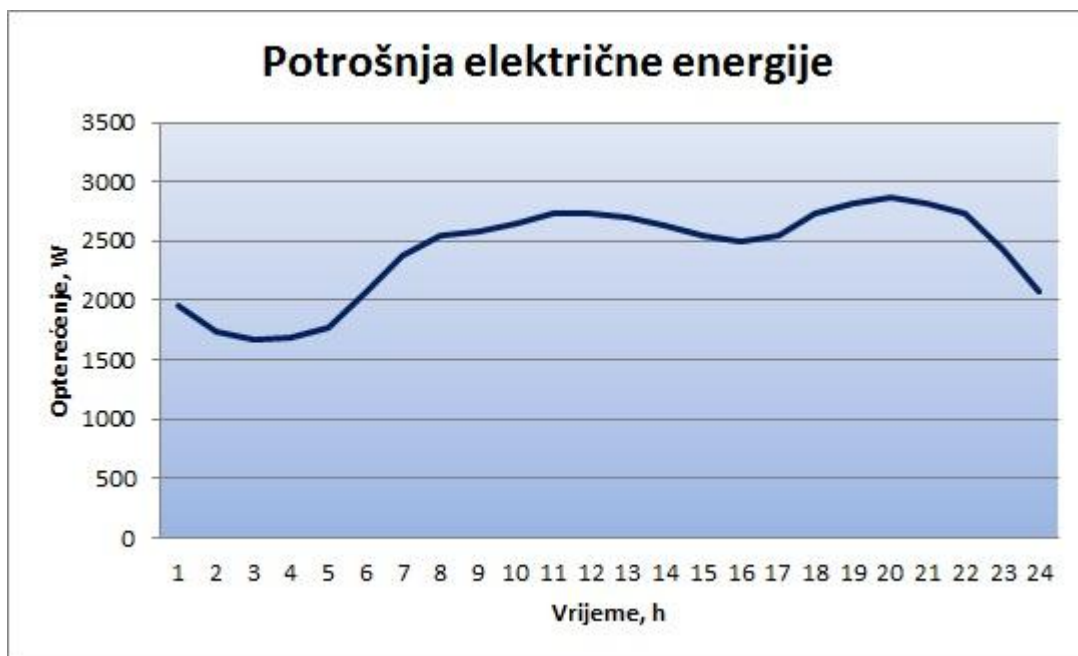


Slika 19 Godišnje rashladno opterećenje za 2019. godinu

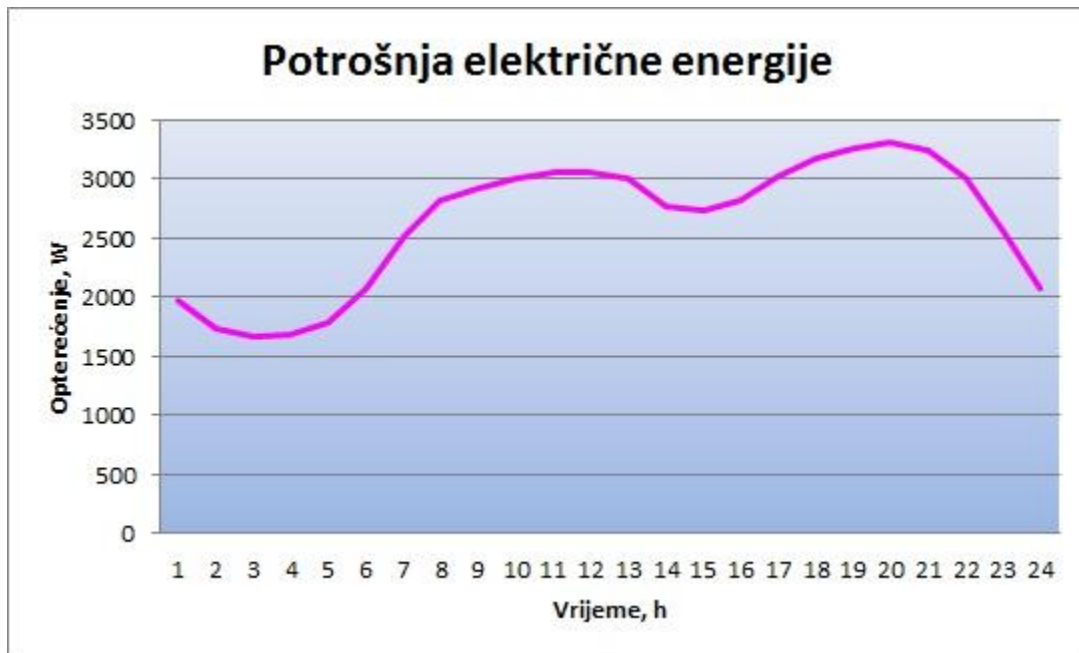
7.3 Potrošnja energije za rad uređaja

Potrošnja električne energije za rad uređaja biti će manja u odnosu na 2009. godinu. Pretpostavka je da se u 2019. godini troši 60% manje energije. Jedna od značajnih pojedinačnih stavki u potrošnji električne energije svakako je i korištenje električnih rasvjetnih tijela. Jedna od najboljih štednih žarulja je fluorokompaktna žarulja koja je četiri puta energetski efikasnija od klasične električne žarulje, a osigurava isti nivo osvjetljenja [16]. Pranjem posuđa u perilici trošimo manje električne energije i vode nego kod ručnog pranja. Suvremene perilice posuđa potroše za jedno pranje 15 do 28 l vode i 1,1 do 1,8 kWh električne energije. Najnaprednije perilice troše samo 14 l vode što predstavlja 80 % uštede u vodi u odnosu na ručno pranje posuđa. Pretpostavlja se korištenje uređaja A ili A+ klase u 2019. godini [17]. Potrošnja električne energije smanjila sa za 60% korištenjem visokoučinkovitih uređaja a navike potrošača ostale su jednake, što možemo vidjeti na sljedećim slikama. Potrošnja godišnje električne energije za rad uređaja iznosi:

$$E_{el,ur}=21\ 688\ \text{kWh/god.}$$



Slika 20 Dijagram dnevne potrošnje električne energije u zgradi za karakterističan radni dan

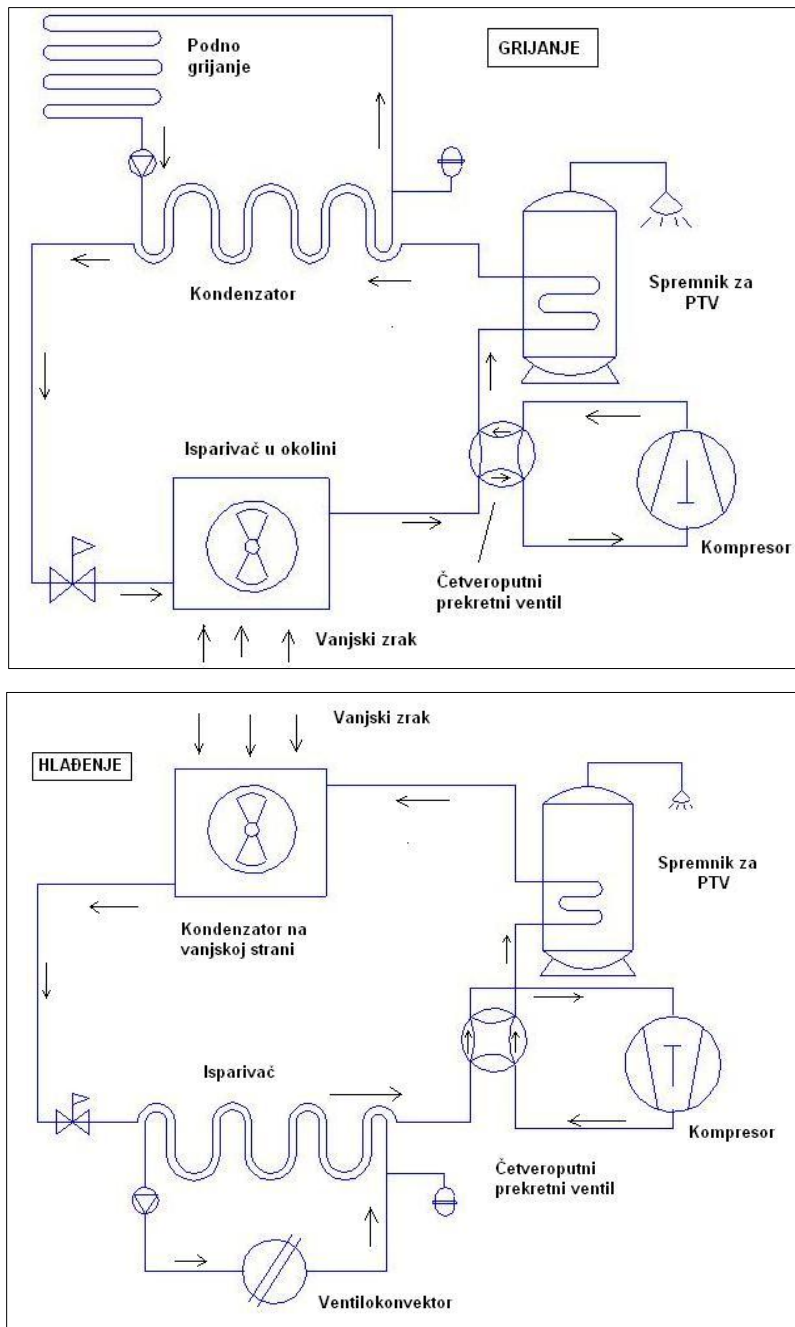


Slika 21 Dijagram dnevne potrošnje električne energije u zgradi tijekom vikenda

7.3.1 Dizalica topline

Za zadovoljenje toplinskog opterećenja za grijanje i rashladnog opterećenja za hlađenje, čije su vrijednosti već spomenute u 5. poglavlju, bilo je potrebno odabrati uređaj koji će pokriti zahtjevana opterećenja. Odabrana je dizalica topline koja radi na principu zrak-voda. Dizalice topline su uređaji koji prenose toplinu sa spremnika niže temperature na spremnik niže temperature, u kojem se toplina korisno primjenjuje. Električnu energiju za rad dizalice topline osiguravaju fotonaponski paneli postavljeni na krovu zgrade. U danima kada zračenje sunca nije dovoljno ili ga uopće nema, dizalica je pogonjena električnom energijom iz mreže koja se kompenzira viškom proizvodnje generirane od sustava fotonaponskih panela. Kada paneli za vrijeme jačeg zračenja proizvode višak energije on se šalje u mrežu i ponovno dobavlja iz mreže kada proizvodnja električne energije nije dovoljna ili je uopće nema [18]. Shema s prikazom rada dizalice topline dana je na sljedećoj slici.

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje



Slika 22 Shema dizalice topline zrak-voda u režimu grijanja i hlađenja

Dizalica topline zrak-voda sastoji se od unutarnje i vanjske jedinice i služi za grijanje i hlađenje. Za promjenu režima rada iz grijanja u hlađenje i obratno, zaslužan je četveroputni ventil. Spojena je na spremnik tople vode, podno grijanje i ventilokonvektore koji mogu biti u funkciji grijanja i hlađenja. Primjer spajanja i ugradnje prikazan je na sljedećim slikama.



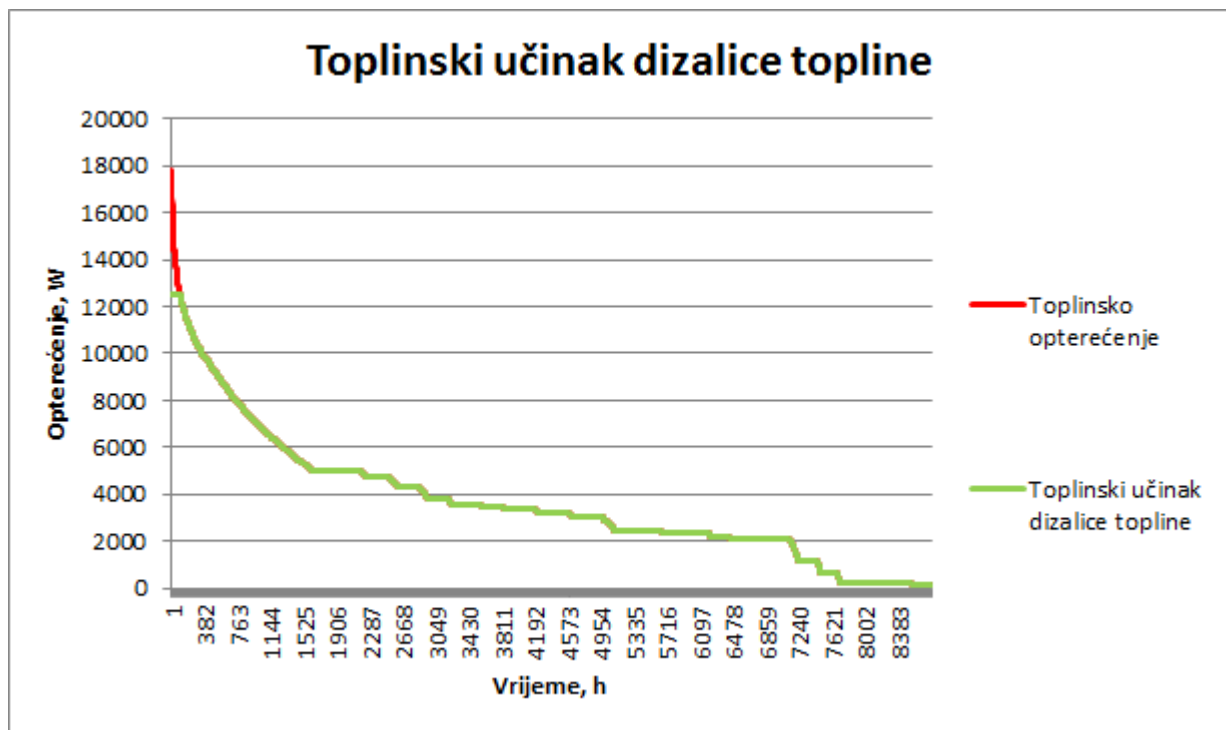
Slika 23 Primjer ugradnje dizalice topline

Bilo je potrebno odabrati model dizalice topline koja će pokriti toplinsko i rashladno opterećenje zgrade. Karakteristike modela date su u sljedećoj tablici.

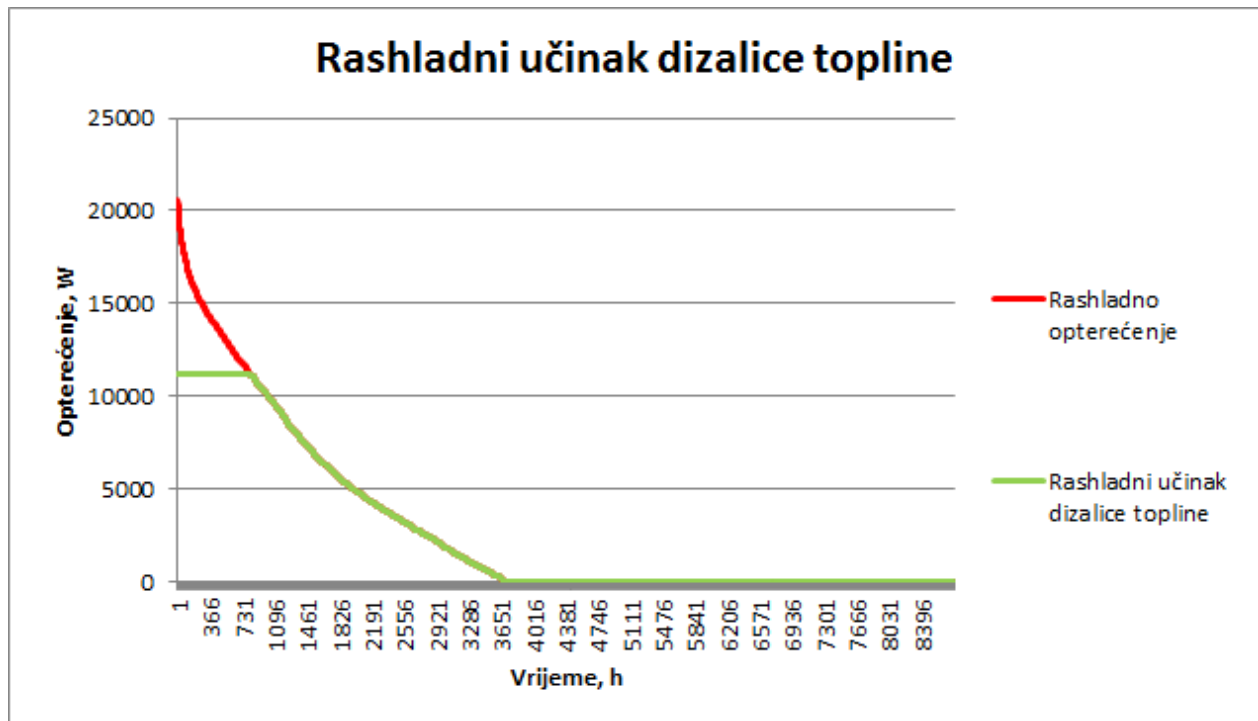
Tabela 4 Karakteristike dizalice topline

Model		COP		Cijena	
PH-ACRHSWHS-075		3,7		25 878,5 kn	
Standardni kapacitet grijanja	Maksimalni kapacitet grijanja	Minimalni kapacitet grijanja	Standardni kapacitet hlađenja	Maksimalni kapacitet hlađenja	Minimalni kapacitet hlađenja
8,5 kW	12,5 kW	4 kW	7,5 kW	11,2 kW	3,2 kW

Dizalica topline pokriva toplinsko opterećenje do 12,5 kW i rashladno opterećenje do 11,2 kW, a svako opterećenje koje prelazi te vrijednosti pokriva se električnom energijom koju proizvode fotonaponski paneli. Unutarnja jedinica ima ugrađen dodatni električni grijač kako bi se pokrilo ono opterećenje koje prelazi maksimalne kapacitete grijanja i hlađenja dizalice topline. Prikaz godišnjeg učinka dizalice topline dan je na sljedećim dijagramima.



Slika 24 Toplinsko opterećenje pokriveno dizalicom topline



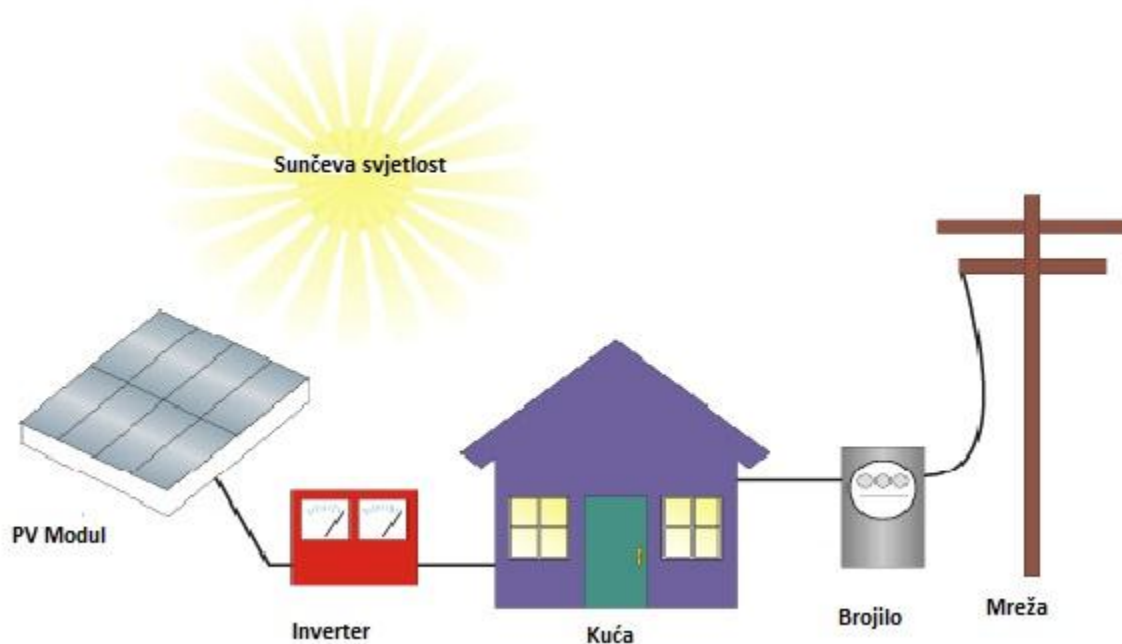
Slika 25 Rashladno opterećenje pokriveno dizalicom topline

7.3.2 Fotonaponski paneli za proizvodnju električne energije

Fotonaponski paneli, kako im i samo ime govori, prikupljaju sunčevu energiju i pomoću ostalih dijelova solarnog sistema pretvaraju je u električnu energiju. Fotonaponski paneli su sastavljeni od fotonaponskih ćelija. Fotonaponske ćelije se sastoje od dva poluvodiča različitih naboja između kojih teče elektricitet kada su izloženi suncu, kao što je to prikazano na sljedećoj slici. Zbog svojih električkih svojstava fotonaponski paneli proizvode istosmjernu struju. Kako bi uređaje na izmjeničnu struju opskrbili električnom energijom iz fotonaponskih panela potreban nam je inverter koji istosmjernu električnu energiju pretvara u izmjeničnu. Razlikujemo dvije vrste fotonaponskih sustava. Jedna vrsta su autonomni sustavi koji svu proizvedenu energiju svakodnevno koriste. Za takve sustave potrebno je odabrati određeni broj kolektora koji proizvedenom količinom energije mogu pokriti dnevnu potrošnju električne energije. Kako bi osigurali njihov pouzdan rad potrebno je korištenje baterija za spremanje energije u razdobljima kada sunčeva energija nije u dovoljnoj količini prisutna ili je uopće nema, primjerice za oblačnog vremena ili tijekom noći.

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje

Druga vrsta sustava su fotonaponski sustavi spojeni na mrežu. Ideja tih sustava jest da se sveukupna proizvedena električna energija prodaje po povlaštenim otkupnim cijenama koje su više od cijene električne energije koju objekt na kojem se nalazi fotonaponski sustav kao potrošač uzima iz mreže. U tom sustavu nije potreban baterijski sustav i regulator punjenja već se proizvedena energija putem mrežnog pretvarača i otkupnog mjesta (brojila) predaje u mrežu. Prikaz takvog sustava dan je na sljedećoj slici.



Slika 26 Fotonaponski sustavi spojeni na mrežu

U ovom radu odabran je fotonaponski sustav za proizvodnju električne energije spojen na mrežu. Bilo je potrebno izračunati ukupnu godišnju potrošnju električne energije u zgradi kako bi se odredila površina kolektora i njihova potrebna snaga za pokrivanje potrošnje. Postupak proračuna i odabira sustava dat je u sljedećim poglavljima [19,20].

7.3.2.1 Proračun sunčeva zračenja

Za proračun i projektiranje solarnog sustava potrebno je proračunati dozračenu energiju Sunca na plohu kolektora. Određivanje sunčevog zračenja na kosu plohu kolektora postavljenog pod kutem od 35 °, okrenutog prema jugu, dato je primjenom anizotropnog modela difuznog zračenja prema sljedećoj jednadžbi:

$$E_{\beta} = E_b \frac{\cos(\theta)}{\sin(\alpha)} + E_d \frac{1+\cos(\beta)}{2} + (E_b + E_d)\rho_{tlo} \frac{1-\cos(\beta)}{2} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (20)$$

- θ – kut između okomice na plohu i upadne zrake Sunca
- α – kut pod kojim sunčeve zrake upadaju na vodoravnu sunčevu plohu
- ρ_{tlo} – koeficijent reflektivnosti
- E_b – direktno zračenje
- E_d – difuzno zračenje.

Kako bi dobili ukupnu ozračenost kose plohe potrebno je sunčevo zračenje svesti na određeni vremenski period (sat, dan, mjesec), pa dobivamo konačan izraz za ozračenost kose plohe:

$$\bar{H}_{\beta} = (\bar{H} - \bar{H}_d)\bar{R}_b + \bar{H}_d \frac{1+\cos(\beta)}{2} + \bar{H}_{\rho} \frac{1-\cos(\beta)}{2} \quad \left[\frac{Wh}{m^2} \right] \quad (21)$$

- \bar{H} – srednje satne ukupne ozračenosti
- \bar{H}_d – srednje satne difuzne ozračenosti ravne plohe

\bar{R}_b se može zamijeniti omjerom izvanatmosferskih ozračenosti nagnute i horizontalne plohe:

$$\bar{R}_b \cong \frac{\bar{H}_{0\beta}}{\bar{H}_0} \quad (22)$$

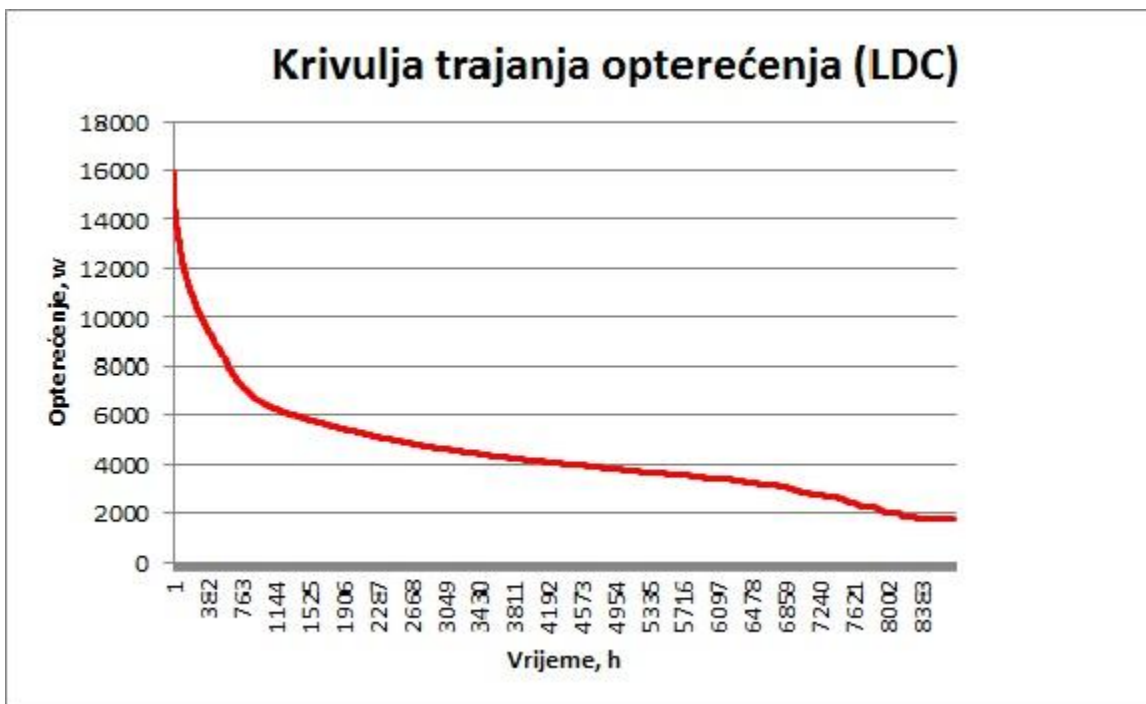
[21, 22]

7.3.2.2 Dobiveni rezultati i odabrani solarni sustav za proizvodnju električne energije

Proračunom sunčeva zračenja određuju se dimenzije i potrebna snaga solarnog sustava koja će zadovoljiti električno opterećenje zgrade i osigurati potrebnu električnu energiju. Ukupna godišnja potrošnja električne energije zgrade iznosi:

$$E_{el,uk} = 39\,084,5 \text{ kWh/god.}$$

Prikaz krivulje trajanja električnog opterećenja dat je na sljedećoj slici.

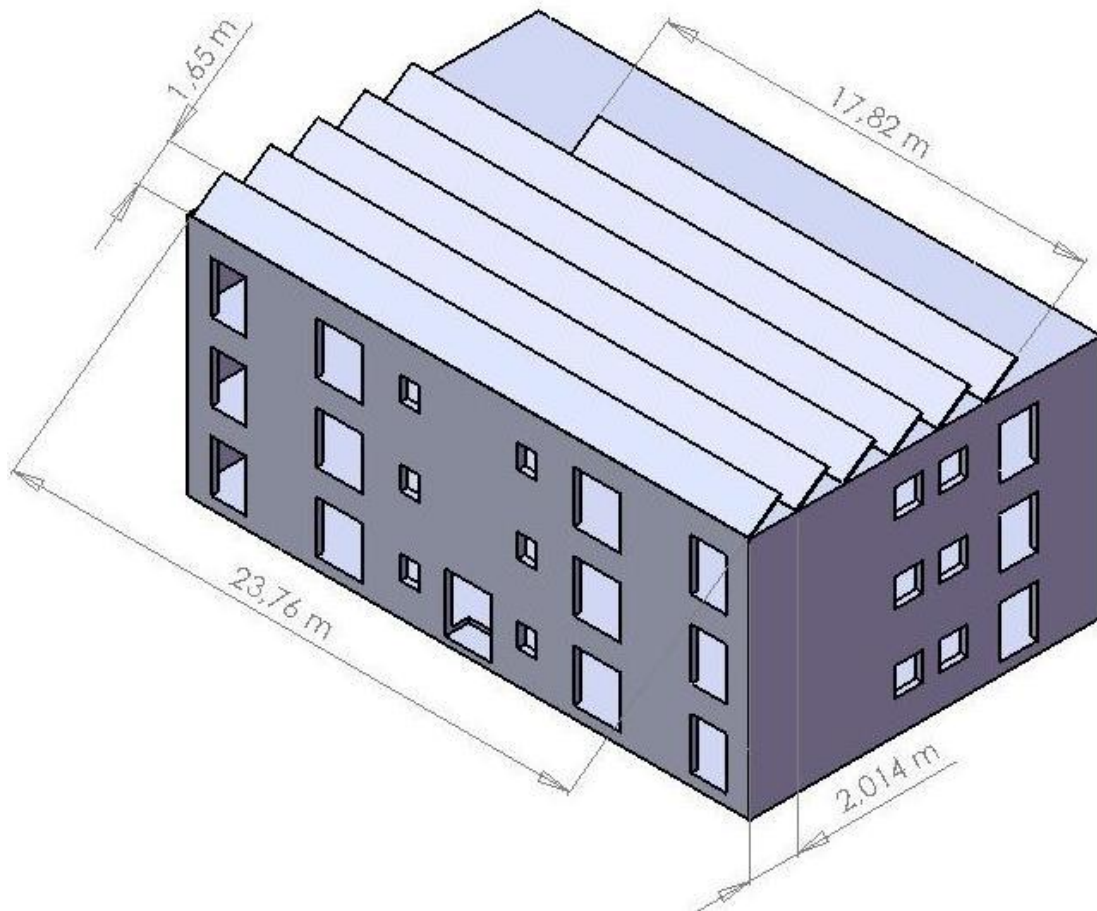


Slika 27 Krivulja trajanja opterećenja

Proračunom je dobivena ukupna površina fotonaponskih panela koja iznosi 225,4 m².

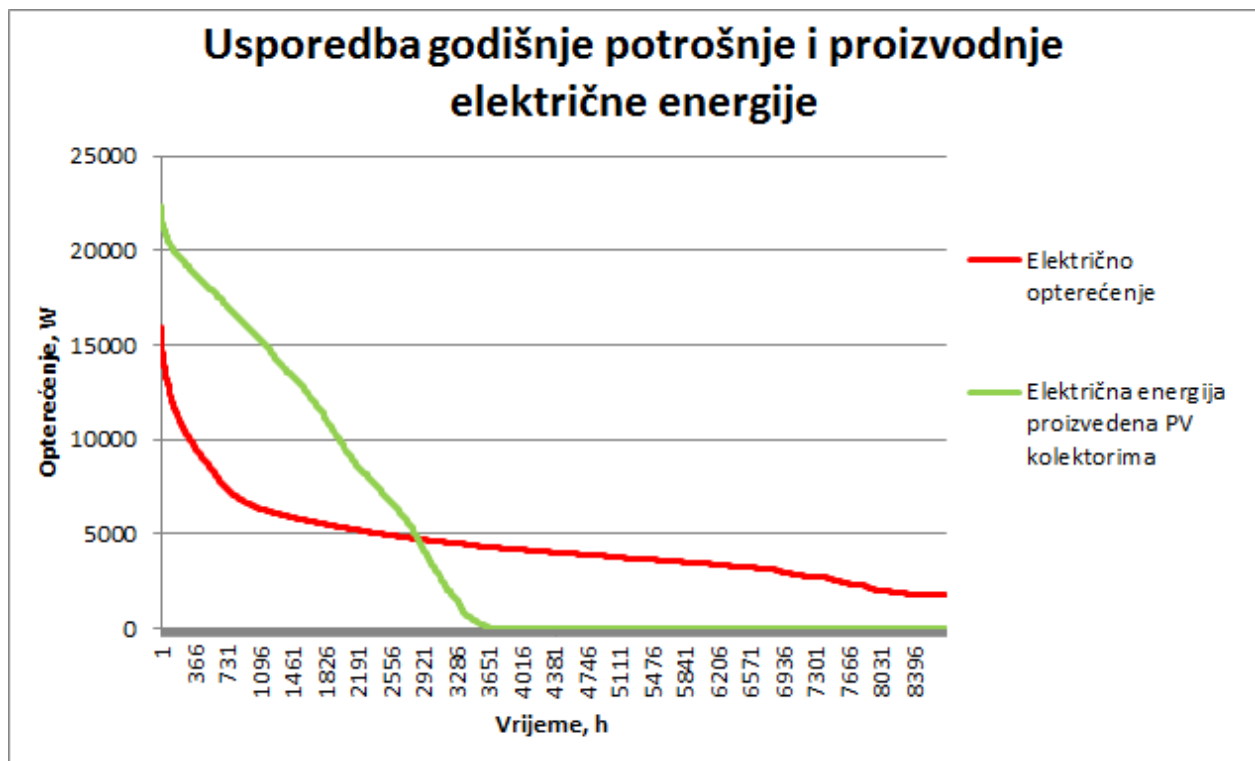
Tabela 5 Karakteristike fotonaponskog kolektora

Tip kolektora	Vršna snaga, Wp	Dimenzije, mm
Fotonaponski monokristalni kolektor (60 ćelija)	210	1650x990



Slika 28 Ugradnja fotonaponskih panela na krovu zgrade

Pet je nizova po 24 modula čija ukupna vršna snaga iznosi $5 \times 24 \times 210 = 25\,200$ Wp i jedan niz od 18 modula s ukupnom vršnom snagom od $1 \times 18 \times 210 = 3\,780$ Wp. Ukupna vršna snaga sustava iznosi 28 980 Wp. Prema proračunu dobiveno je da je ukupna godišnja proizvodnja električne energije iz solarnog sustava 39 330 kWh/god. Usporedba godišnje potrošnje električne energije i učinka fotonaponskih panela data je u sljedećem dijagramu.



Slika 29 Odnos godišnje potrošnje i proizvodnje električne energije

Višak proizvedene električne energije iz fotonaponskih panela kompenzira se s razdobljem kada paneli ne proizvode električnu energiju, primjerice za oblačnog vremena ili tijekom noći.

8 FINANCIJSKA ANALIZA TROŠKOVA GRADNJE

8.1 Zgrada u 2009. godini

Ukupni trošak za izgradnju zgrade ubraja materijale, uređaje i određene elemente potrebne za njenu izgradnju. Potrebno je napraviti analizu svih troškova i odrediti ukupni trošak za izgradnju zgrade. U sljedećim tablicama prikazana je financijska analiza gradnje zgrade.

Tabela 6 Trošak za izgradnju strukture ovojnice zgrade za 2009. godinu

Građevni materijal	λ, W/mK	d, cm	A, cm²	Cijena	Ukupno
VANJSKI ZID, A = 551 m²					
Fasadna opeka od gline	0,55	20	25x20x20	3,5 kn/kom	38 570 kn
Stiropor	0,037	5	100x50x4	20 kn/m ²	11 020 kn
Vapnena žbuka	0,8	1	3,1 m ² /vreći (40 kg)	25 kn/vreći (40kg)	8 887 kn
Ukupno					58 477 kn
STROP, A = 360 m²					
Probeton	0,1	20	62,5x40x20	620 kn/m ³	223 200 kn
Hidroizolacijska traka	0,14	0,3	-	12 kn/m ²	4 320 kn
Ukupno					227 520 kn
POD, A = 360 m²					

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje

Probeton	0,1	20	62,5x40x20	620 kn/m ³	223 200 kn
Lamperija (A = 288 m ²)	-	-	-	43 kn/m ²	12 384 kn
Ukupno					235 584 kn
UKUPNO					521 581 kn

Tabela 7 Trošak za ugradnju elemenata na ovojnicu zgrade

Vrsta, komada	U, W/m ² K	A, cm ²	Cijena/kom	Ukupno
PROZORI – Dvostruko izolirajuće staklo (s jednim međuslojem zraka)				
6	1,8	140x150	1 200 kn	7 200 kn
6	1,8	90x100	700 kn	4 200 kn
6	1,8	120x120	1 000 kn	6 000 kn
Ukupno				17 400 kn
BALKONSKA VRATA - Dvostruko izolirajuće staklo (s jednim međuslojem zraka)				
9	1,8	150X220	1 900 kn	17 100 kn
3	1,8	200x220	2 200 kn	6 600 kn
Ukupno				23 700 kn
VANJSKA VRATA				
1	2,9	200X250	3 000 kn	3 000 kn
Ukupno				3 000 kn
UKUPNO				44 100 kn

Tabela 8 Trošak za ugradnju uređaja za grijanje i hlađenje

Uređaj	Komada	Cijena	UKUPNO
INVERTER RAS-107SKV-E/RAS-107SAV-E	12	5 514,09 kn	66 169,08 kn
Bojler za potrošnu toplu vodu	12	840 kn	10 080 kn
UKUPNO			76 249,08 kn

Ukupan trošak gradnje ovojnice zgrade i njenih elemenata iznosi 556 581 kn. Tome trošku dodan je i trošak koji uključuje 12 jedinica split-sustava za grijanje i hlađenje zgrade u 2009. godini. To naravno nije ukupni trošak potreban za izgradnju jedne takve zgrade zbog toga što u obzir nije uzeta izgradnja unutarnjih zidova između prostorija i ostalih elemenata unutar zgrade, jer je zgrada promatrana kao jedna toplinska zona.

8.2 Zgrada u 2019. godini

Tabela 9 Trošak za izgradnju strukture ovojnice zgrade za 2019. godinu

Građevni materijal	λ , W/mK	d, cm	A, cm ²	Cijena	Ukupno
VANJSKI ZID, A = 551 m²					
Fasadna opeka od gline	0,55	20	25x20x20	3,5 kn/kom	38 570 kn
Stiropor	0,037	8	100x50x7	30 kn/m ²	16 530 kn
Vapnena žbuka	0,8	1	3,1 m ² /vreći (40 kg)	25 kn/vreći (40kg)	8 887 kn
Ukupno					63 987 kn
STROP, A = 360 m²					
Probeton	0,1	30	62,5x40x30	930 kn/m ³	334 800 kn

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje

Hidroizolacijska traka	0,14	0,3	-	12 kn/m ²	4 320 kn
Ukupno					339 120 kn
POD, A = 360 m²					
Probeton	0,1	20	62,5x40x20	930 kn/m ³	334 800 kn
Lamperija (A = 288 m ²)	-	-	-	43 kn/m ²	12 384 kn
Ukupno					347 184 kn
UKUPNO					750 291 kn

Tabela 10 Trošak za ugradnju elemenata na ovojnici zgrade

Vrsta, komada	U, W/m ² K	A, m ²	Cijena/kom	Ukupno
PROZORI – Dvostruko izolirajuće staklo s jednim staklom niske emisije (jedna Low-E obloga)				
6	0,7	140x150	2 400 kn	14 400 kn
6	0,7	90x100	1 400 kn	8 400 kn
6	0,7	120x120	2 000 kn	12 000 kn
UKUPNO				34 800 kn
BALKONSKA VRATA - Dvostruko izolirajuće staklo s jednim staklom niske emisije (jedna Low-E obloga)				
9	0,7	150X220	3 800 kn	34 200 kn
3	0,7	200x220	4 400 kn	13 200 kn
UKUPNO				47 400 kn
VANJSKA VRATA				

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje

1	2,2	200X250	3 000 kn	3 000 kn
UKUPNO				3 000 kn
UKUPNO				85 200 kn

Tabela 11 Trošak za ugradnju uređaja za grijanje i hlađenje

Uređaj	Komada	Cijena	Ukupno
Dizalica topline- PH-ACRHSWHS-075	1	25 878,5 kn	25 878,5 kn
Unutarnja jedinica	1	26 655 kn	26 655 kn
Bojler	12	5 950 kn	71 400 kn
Podno grijanje	-	-	78 000 kn
Ventilokonvektori	12	2 000 kn	24 000 kn
Solarni sustav	138 (210 Wp)	25 550 kn/kW	740 439 kn
UKUPNO			966 372,5 kn

8.3 Eksterni troškovi

Proizvodnja električne energije uzrokuje pozitivne i negativne eksterne učinke. U pozitivne učinke se ubrajaju poboljšanje kvalitete života, mogućnost zapošljavanja, konkurentnost na tržištu, a u negativne eksterne učinke štetno djelovanje na zdravlje čovjeka i okoliš. Ako se ti štetni učinci ne kompenziraju, nastaju eksterni troškovi kao neželjena posljedica proizvodnje električne energije, te su tržišne cijene električne energije manje od stvarnih cijena. Cijena energije pokriva investicijske i operativne troškove, troškove rada, gorivo, porez i osiguranje. Eksterni troškovi koji se odnose na ljudsko zdravlje i okoliš nisu pribrojani cijeni energije [23,24]. U Hrvatskoj cijene eksternih troškova nisu do kraja razjašnjene, međutim može se uzeti da se jedna trećina cjelokupne električne energije mreže proizvodi iz ugljena, jedna trećina iz hidroelektrana i jedna trećina iz plina. Eksterni troškovi za ugljen iznose 5 €cent/kWh, za hidroenergiju 1 €cent/kWh i za plin 1 €cent/kWh. Ukupni eksterni trošak za dva scenarija gradnje, prema tim podacima, iznosio bi : za 2009. godinu iznosio bi 1756,65 € ili 12823,5 kn.

Tabela 12 Prikaz eksternih troškova

EKSTERNI TROŠKOVI	
2009. godina	2019. godina
12 823,5 kn	6 657,4 kn
1 756,65 €	912 €
UŠTEDE U EKSTERNIM TROŠKOVIMA	
6 166,1 kn	
844,65 €	

Kako je već prije spomenuto, potrošnja energije popraćena je emisijama štetnih plinova koji također spadaju pod eksterni trošak. Emisije štetnih plinova, kod fosilnih goriva kao izvora energije, javljaju se prilikom oslobađanja plinova izgaranjem fosilnog goriva. Najopasniji štetni plin je staklanički plin CO₂, pa se zbog toga proračunavaju njegove emisije prilikom potrošnje energije. Osim emisija nastalih sagorijevanjem fosilnih goriva postoje i emisije iz mrežnih oblika energije. Zgrada opisana u ovom radu opskrbljuje se električnom energijom iz mreže, pa je stoga bilo potrebno izračunati emisiju CO₂ za takav oblik energije. Godišnja emisija CO₂ prema podacima za godišnju emisiju ugljičnog dioksida po jedinici energije ili jedinici goriva, koja za električnu energiju iznosi 0,53 kgCO₂/kWh [8]. Poznavajući ukupnu godišnju potrošnju električne energije za zgradu dobije se ukupna godišnja emisija CO₂ prikazana u sljedećoj tablici.

Tabela 13 Emisije CO₂

EMISIJE CO₂	
2009. godina	2019. godina
40 tCO ₂ /god.	20,7 tCO ₂ /god.
SMANJENJE EMISIJA CO₂	
za 48%	

9 USPOREDBA DVA SCENARIJA GRADNJE

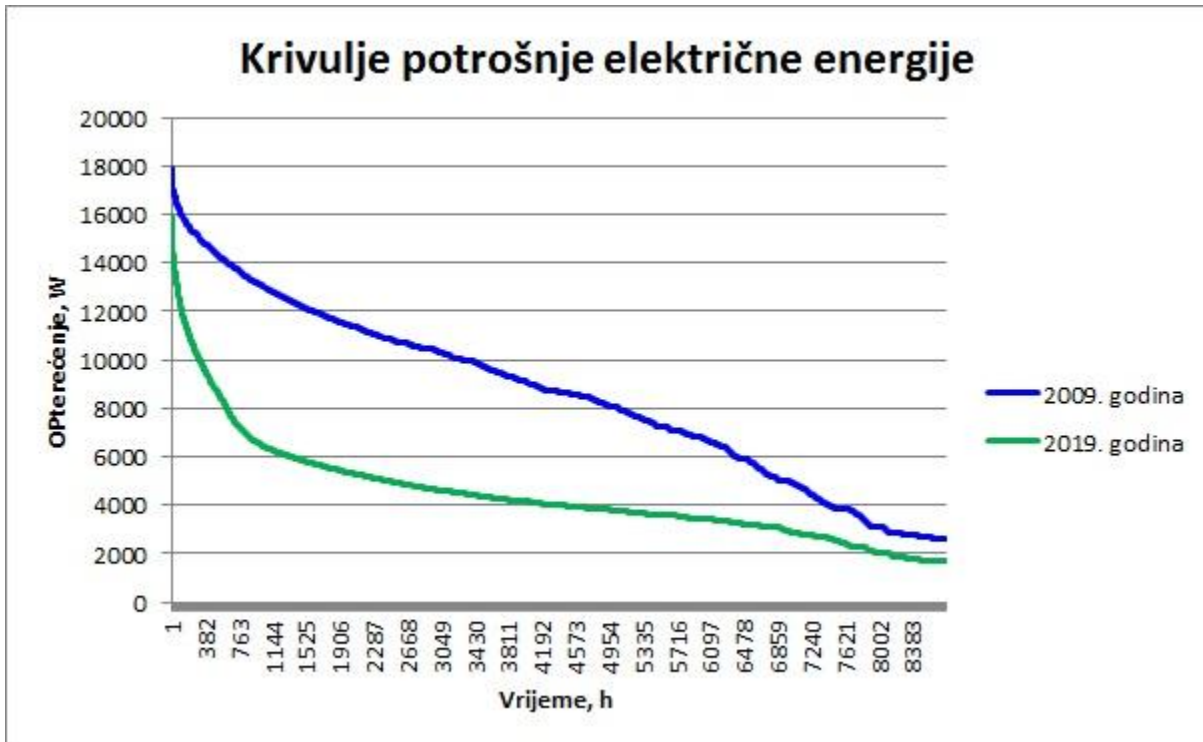
Tabela 14 Usporedba dva zadana načina gradnje zgrade

2009.	2019.
Toplinsko opterećenje za grijanje prostora ($Q_{H,nd}$)	
15 560 kWh/god.	10 872 kWh/god.
Rashladno opterećenje za hlađenje prostora ($Q_{C,nd}$)	
37 000 kWh/god.	24 928 kWh/god.
Ukupno toplinsko opterećenje ($Q_{H,nd,uk}$)	
42 350 kWh/god.	32 302 kWh/god.
Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje prostora ($Q_{H,nd,ref}$)	
14,58 kWh/m ²	10,07 kWh/m ²
Ukupna potrošnja električne energije ($E_{el,uk}$)	
75 284,4 kWh/god.	39 084,5 kWh/god.
Troškovi gradnje zgrade	
641 930,08 kn	1 801 863,5 kn
87 935,6 €	246 830,6 €

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje

Prema rezultatima u tablici da se zaključiti da je zgrada u 2019. godini energetski učinkovitija zbog manje potrošnje električne energije, ali i do skoro tri puta skuplja. Razlika u trošku izgradnje ovih dviju zgrada iznosi 158 895 € ili izraženo po kvadratnom metru površine zgrade iznosi:

$$T_{razlika} = 147 \text{ €/m}^2$$



Slika 30 Usporedba potrošnje električne energije za 2009. i 2019. godinu

10 ZAKLJUČAK

U radu su opisana dva različita scenarija gradnje zgrade koja ima jednake dimenzije za oba scenarija i nalazi se na području Dubrovnika. Prema provedenom proračunu energetskih tokova zgrade za stanje u 2009. i 2019. godini i rezultatima proračuna može se zaključiti da zgrada građena prema današnjim propisima koji vrijede u Hrvatskoj spada zapravo u razred niskoenergetskih zgrada, zbog male potrošnje električne energije. Rezultati dobiveni u ovom radu pokazuju da nije velika potreba za smanjenjem energetskih tokova u zgradi da bi se smanjila potrošnja električne energije. Međutim, cilj ovog rada bio je, osim potrošnje električne energije i korištenje obnovljivih izvora energije koji imaju znatno manje emisije štetnih plinova u okoliš od konvencionalnih oblika energije. Tako je na ovu zgradu, male potrošnje električne energije, postavljen solarni sustav za proizvodnju električne energije koji zgradu pretvara u malo energetsko postrojenje. Svu godišnju energiju koju zgrada proizvede pomoću solarnog sustava ona i potroši. Kako sunčeva energija nije pouzdan izvor, jer Sunca nema uvijek na raspolaganju, bilo je potrebno proizvedenu energiju balansirati s mrežom. Godišnja proizvodnje električne energije solarnog sustava bila je dovoljna da pokrije godišnju potrošnju električne energije zgrade. Korištenjem dizalice topline kao visokoučinkovitog uređaja, koji uz malu potrošnju električne energije ima veliki učinak, postignuta je još manja potrošnja električne energije.

Tabela 15 Stanje u 2019. godini u odnosu na 2009. godinu

STANJE U 2019. GODINI	
Troškovi gradnje	do 3 puta skuplji
Potrošnja električne energije	za 48% manja
Eksterni troškovi	za 48% manji
Emisije CO₂	za 48% manje

Mana ovog sustava koja se najviše ističe je skupa investicija. Kako vidimo prema dobivenim rezultatima, izgradnja zgrade u 2019. godini bila bi do tri puta skuplja od one građene u 2009. godini. Imajući na umu da ovakvo rješenje gradnje uvelike smanjuje emisiju štetnih plinova, koji danas predstavljaju veliki problem u svijetu, a kvalitetnija gradnja utječe na smanjenje potrošnje

A. Šare: Energetski nezavisna zgrada kao energetsko postrojenje

električne energije, može se zaključiti da će se ovakvim rješenjima sve više težiti u budućnosti. Gledajući prema budućnosti moramo se zapitati što su nam glavni ciljevi. Je li naš glavni cilj iznaći rješenje koje će iziskivati manje troškove ili se moramo ipak malo angažirati kako bi utjecali na promjene u budućnosti koje donose obnovljivi izvori energije? Sunce, kao ogroman izvor energije i glavni pokretač života na Zemlji bezuvjetno odašilje energiju, a na nama je da je iskoristimo na najbolji mogući način. Ulaganjem u razvoj novih i učinkovitijih poboljšanja u bilo kojem aspektu, pa tako i po pitanju energije, omogućujemo stvaranje promjena koje imaju odražaj dalje u budućnost. Ako o energiji razmišljamo na način da poboljšamo učinkovitost i efikasnost njene proizvodnje i iskorištavanja, onda bi nam ovakve zgrade svakako trebale biti skora budućnost.

LITERATURA

- [1] Bukarica V., Dović D., Hrs Borković Ž., Soldo V., Sučić B., Švaić S., Zanki V, Priručnik za energetske savjetnike, Tiskara Zelina d.d, Zagreb, (2008.)
- [2] Leckner M., Zmeureanu R., Life cycle cost and energy analysis of a Net Zero Energy House with solar combisystem, Elsevier, (2010.)
- [3] Wang L., Gwilliam J., Jones P., Case study of zero energy house design in UK, Elsevier, (2009.)
- [4] D. Kolokotsa, D. Rovas, E. Kosmatopoulos, K. Kalaitzakis, A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings, Elsevier, (2010.)
- [5] E. Tsioliaridou, G.C. Bakos, A new methodology for renewable and rational use of energy policy in building sector: Case study for the island of Crete, Elsevier, (2005.)
- [6] Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Prilagodba i nadogradnja strategije energetskog razvoja Republike Hrvatske, (2008.)
- [7] P.T. Tsilingiris, Wall heat loss from intermittently conditioned spaces—The dynamic, influence of structural and operational parameters, Elsevier, (2006.)
- [8] Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada, (2008.)
- [9] Lanović J., Kakve su to niskoenergetske i energetski neovisne kuće?, Energetska efikasnost, Info magazin, (2010.)
- [10] Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling, ISO 13790:2008(E)
- [11] Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama,(2008.)
- [12] Internet: www.hep.hr, HEP ODS d.o.o.
- [13] Prebeg F., Plavo zlato poskupljuje sve više, Masmedia d.o.o., (2010.)
- [14] Internet: <http://www.huzp.hr/el030204.htm>
- [15] Internet: www.energetska-efikasnost.undp.hr, Poticanje energetske efikasnosti u Hrvatskoj, Štednja vode instalacijom perlatora, UNDP-EE, (2010.)
- [16] Internet: www.energetska-efikasnost.undp.hr, Poticanje energetske efikasnosti u Hrvatskoj,

Štedna rasvjeta, UNDP-EE, (2010.)

- [17] Internet: www.energetska-efikasnost.undp.hr, Poticanje energetske efikasnosti u Hrvatskoj, Energetski razred kućanskih uređaja, UNDP-EE, (2010.)
- [18] Bupić M., Čustović S., Stanje i trendovi uporaba dizalica topline, Naše more, (2006.), (213-219)
- [19] Esbensen T. V., Korsgaard, Dimensioning of the solar heating system in the zero energy house in Denmark, Elsevier, (1977.)
- [20] Szekers I., Kućne fotonaponske elektrane s priključkom na mrežu, Info magazin, Solarna energija (2010.)
- [21] Perić M., Računalna simulacija rada fotonaponskog sustava, Zagreb, (2002.)
- [22] Bilić Z., Napajanje udaljenog stambenog objekta pomoću energije vjetra i sunčevog zračenja, Osijek (2006.)
- [23] Tomšić Ž., Debrecin N., Vrankić K., Eksterni troškovi proizvodnje električne energije i politika zaštite okoliša, Energija, god. 55 (2006), br. 2., str 128-163
- [24] External costs, Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport, European Communities,(2003.)