

Zgrada hotela neto nulte energije na području sjevernog Jadrana

Pleše, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:002911>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni diplomski studij strojarstva

Diplomski rad

**ZGRADA HOTELA NETO NULTE ENERGIJE NA PODRUČJU
SJEVERNOG JADRANA**

Rijeka, svibanj 2024.

Ana Pleše

0069081453

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni diplomski studij strojarstva

Diplomski rad

**ZGRADA HOTELA NETO NULTE ENERGIJE NA PODRUČJU
SJEVERNOG JADRANA**

Mentor: prof. dr. sc. Igor Wolf

Rijeka, svibanj 2024.

Ana Pleše

0069081453

Rijeka, 15. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za termodinamiku i energetiku**
Predmet: **Tehnika klimatizacije i automatska regulacija**
Grana: **2.11.02 procesno energetska strojarstvo**

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Ana Pleše (0069081453)**
Studij: Sveučilišni diplomski studij strojarstva
Modul: Termotehnika

Zadatak: **Zgrada hotela neto nulte energije na području sjevernog Jadrana / Net-Zero Energy Hotel Building in the Northern Adriatic Region**

Opis zadatka:

U radu je potrebno izraditi koncept hotela neto nulte energetske potrošnje na području sjevernoga Jadrana. Arhitektonske podloge hotela sastavni su dio ovoga zadatka. U prvom koraku rješavanja zadatka potrebno je odrediti godišnje energetske potrebe hotela za grijanje, hlađenje, pripremu potrošne tople vode, mehaničku ventilaciju, rasvjetu i napajanje električnih trošila, uzimajući u obzir tipične modele (satne raspodjele) potrošnje tople sanitarne vode i električne energije u hotelima. Primjenom tehno-ekonomske analize, u nastavku rada potrebno je utvrditi odgovarajući set građevinskih i tehnoloških mjera potrebnih radi postizanja konačnoga cilja neto nulte potrošnje energije.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Ana Pleše

Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:



Prof. dr. sc. Igor Wolf

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:



Izv. prof. dr. sc. Igor Bonefačić

IZJAVA

Sukladno „Pravilniku o diplomskom radu, diplomskom ispitu i završetku diplomskih sveučilišnih studija“, izjavljujem da sam samostalno izradila rad „Zgrada hotela neto nulte energije na području sjevernog Jadrana“ koristeći znanje stečeno tijekom studija, pomoću stručne literature u sklopu diplomskog rada te uz stručnu pomoć mentora prof. dr. sc. Igora Wolfa.

Rijeka, svibanj 2024.

Ana Pleše

ZAHVALA

Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Igoru Wolfu na pruženom znanju tijekom studija, stručnom vodstvu, iskazanoj pomoći te brojnim savjetima i sugestijama prilikom izrade ovog rada.

Najveće zahvale upućujem svojim roditeljima, koji su mi omogućili bezbrižno studiranje i pružili neizmjernu podršku tijekom studiranja, motivirali me i bili strpljivi, te sestrama koje su vjerovale u mene.

Zahvaljujem i Borni na velikoj podršci i strpljenju, svojim prijateljima i kolegama koji su me pratili kroz studij i bili uvijek tu za mene.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. ENERGETSKI UČINKOVITE ZGRADE	3
2.1. Zakonodavni okvir	4
2.2. Karakteristike zgrada gotovo nulte energije	6
2.2.1. Vanjska ovojnica zgrade.....	8
2.2.2. Oblik zgrade i orijentacija.....	9
2.2.3. Otvori i zaštita od sunčeva zračenja.....	10
3. TOPLINSKA BILANCA HOTELA	11
3.1. Proračun toplinskih gubitaka	11
3.1.1. Transmisijski toplinski gubici	11
3.1.2. Ventilacijski toplinski gubici grijanog prostora	17
3.1.3. Toplinsko opterećenje cijele zgrade	20
3.2. Proračun toplinskog opterećenja	23
3.2.1. Unutarnje toplinsko opterećenje	23
3.2.2. Vanjsko toplinsko opterećenje	25
3.3. Proračun protoka zraka za ventilaciju i potrebnih učina grijanja i hlađenja zraka .	29
3.4. Proračun potrošnje potrošne tople vode	31
4. TERMOTEHNIČKI SUSTAV	33
4.1. Tehnički opis sustava	33
4.2. Sustav grijanja i hlađenja	34
4.2.1. Dizalica topline za grijanje i hlađenje zgrade	34
4.2.2. Radijatori.....	37
4.2.3. Ventilokonvektori.....	39
4.3. Sustav pripreme potrošne tople vode	40
4.3.1. Spremnik PTV-a.....	40
4.3.2. Dizalica topline za pripremu PTV – a.....	42

4.4. Sustav ventilacije	43
4.4.1. Klima-komora	45
4.4.2. Tlačni i odsisni distributeri zraka.....	46
5. TEHNIČKO-ENERGETSKA ANALIZA	50
5.1. Godišnja potrebna energija za grijanje i hlađenje	50
5.2. Primarna energija	54
5.2.1. Predgrijavanje potrošne tople vode.....	55
5.2.2. Rasvjeta.....	60
5.2.3. Fotonaponski sustav	63
5.2.4. Usporedba fotonaponskog sustava s fotonaponsko-toplinskim sustavom.....	68
5.2.5. Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji	71
5.3. Ušteda vode	72
5.3.1. Metodologija proračuna uštede vode	73
5.3.2. Sustav iskorištavanja kišnice	77
6. ZAKLJUČAK	79
LITERATURA	81
POPIS SLIKA	84
POPIS TABLICA	85
POPIS DIJAGRAMA	87
SAŽETAK	88
SUMMARY	89
POPIS PRILOGA	90

1. UVOD

U Europskoj uniji zgrade su odgovorne za otprilike 40% ukupne potrošnje energije, te 36% emisija stakleničkih plinova, stoga Europski parlament i Vijeće Europske unije donose niz mjera, čiji je cilj smanjiti potrošnju energije u zgradarstvu i potaknuti korištenje energije iz obnovljivih izvora, te na taj način osigurati energetska neovisnost Europske unije i ublažiti klimatske promjene. Od država članica Europske unije zahtijeva se da sve nove zgrade od 31. prosinca 2020. godine budu zgrade gotovo nulte energije. Zgrada gotovo nulte energije je zgrada koja ima visoka energetska svojstva, a veoma mala količina energije, koju takva zgrada zahtijeva, trebala bi se pokrivati energijom iz lokalno dostupnih obnovljivih izvora [1].

Kako bi se ublažio utjecaj klimatskih promjena Europska unija osmislila je zakonodavni paket „Spremni za 55%“, koji sadrži nove prijedloge zakona o klimi i energiji, čiji je cilj smanjiti emisije za 55% do 2030. godine te postići klimatsku neutralnost do 2050. godine. Ovaj paket obuhvaća mjere za smanjenje potrošnje primarne i konačne energije na najmanje 11,7% na razini Europske unije do 2030. godine u odnosu na referentne vrijednosti iz 2020. godine.

Kako bi se smanjila potrošnja energije, bitna je i potrošnja energije sustava za grijanje, hlađenje i ventilaciju, odnosno optimizacija takvih sustava. Mnogi proizvodi koji rade u današnjim zgradama proizvedeni su relativno nedavno prema učinkovitim tehnologijama, ali ne rade u optimalnim uvjetima zbog loše kvalitete instalacija ili puštanja u pogon koji nije izveden prema uputama proizvođača, te se zbog toga oko 30% generirane energije odbacuje. Optimizacija sustava grijanja, klimatizacije i ventilacije može smanjiti potrošnju energije i emisije [2].

Zgradarstvo je sektor s najvećim potencijalom za smanjenje ukupne potrošnje energije, te se na taj način izravno doprinosi zaštiti okoliša kroz smanjenje emisija štetnih plinova. Obnovom postojećih zgrada ostvarile bi se velike energetske i ekološke uštede.

U ovom diplomskom radu izrađen je koncept hotela neto nulte energetske potrošnje na području sjevernog Jadrana na temelju arhitektonskih podloga, te je određen set odgovarajućih građevinskih i tehnoloških mjera radi postizanja zgrade neto nulte potrošnje energije.

Zadatak ovog diplomskog rada inspiriran je bečkim hotelom „Boutiquehotel Stadthalle“, koji je ujedno i prvi hotel neto nulte energetske potrošnje u svijetu smješten u urbanoj sredini. Ovaj hotel je započeo s renovacijom 2002. godine, a cilj je bio povećati ekološku održivost hotela.

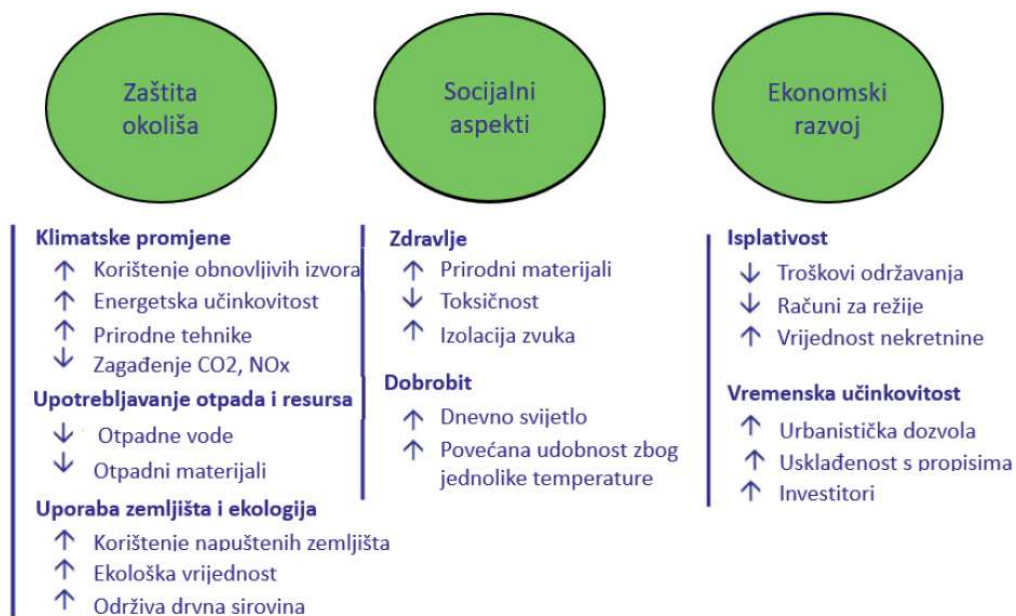
Ovaj bečki hotel za grijanje i hlađenje koristi solarnu energiju i dizalicu topline tlo – voda. Ovi sustavi za svoj rad koriste kišnicu, koja se koristi i za zalijevanje vrta, koji se nalazi na krovu hotela, te za ispiranje WC – a u kupaonicama. Pomoću tri vjetroagregata i fotonaponskog sustava proizvodi se električna energija za potrebe hotela. Grijanje i hlađenje se odvija na principu aktivacije betonske jezge, odnosno topli ili hladni zrak prolazi kroz rupe unutar betonskih ploča, kako bi se izravno zagrijala površina građevnog dijela prije nego što se zrak dovede u prostorije korisnika. Korištenjem odgovarajućih mjera osigurala se ušteda potrošnje električne energije za 44%, te vode za 15% [3].

U ovom diplomskom radu, kako bi se zadovoljio uvjet zgrade neto nulte energije, bilo je potrebno osmisliti sustave koji će osigurati smanjenje potrošnje energije. Predviđen je sustav koji koristi toplinu otpadne vode za predgrijavanje potrošne tople vode, čime se smanjuje potrebna količina energije za njezino zagrijavanje. Sustav za prikupljanje kišnice koristi se za ispiranje WC –a, te omogućava uštedu vode u iznosu od 43% na godišnjoj razini. Također, predviđen je i fotonaponski sustav koji generira dovoljnu količinu električne energije za potrebe hotela.

2. ENERGETSKI UČINKOVITE ZGRADE

U posljednjih nekoliko desetljeća rastući problem predstavljaju globalno zatopljenje i klimatske promjene, također dolazi do porasta cijene energenata, a rezerve fosilnih energenata se smanjuju. Nalazišta fosilnih goriva imaju ograničeni životni vijek, troškovi proizvodnje energenta i održavanja nalazišta povećavaju se sa starosti nalazišta, a nove rezerve fosilnih goriva teže se pronalaze. Emisije koje uzrokuju fosilni energenti pridonose stakleničkom efektu i globalnim klimatskim promjenama. Stoga kako bi se neutralizirao utjecaj na okoliš i diverzificirao energetska potencijal, potrebno je povećati kapacitete obnovljivih izvora energije te smanjiti potrošnju energije i povećati energetska učinkovitost.

Kako je već ranije spomenuto, u Europskoj uniji zgrade su odgovorne za otprilike 40% ukupne potrošnje energije, te 36% emisija stakleničkih plinova, stoga se teži projektiranju zgrada koje su održive, te imaju potencijal za smanjenje ljudskog utjecaja na okoliš. Na slici 2.1. moguće je vidjeti učinak održivih zgrada na zaštitu okoliša, socijalne aspekte i ekonomski razvoj [4].



Slika 2.1. Utjecaj održivih zgrada na okoliš, društvo i ekonomski razvoj [4]

Pojam neto nula odnosi se na ravnotežu između količine energije isporučene objektu i količine energije koju objekt vraća u javnu energetska mrežu. Zgrade neto nulte energije karakteriziraju se kao zgrade čija je količina godišnje potrebne energije približno jednaka količini obnovljive energije koja se proizvodi na licu mjesta, odnosno to je zgrada čija je potrošnja energije jednaka njezinoj proizvedenoj energiji kroz određeni period. Pojam zgrada neto nulte energije je složen pojam, koji se u literaturi interpretira na razne načine, ali cilj ovakvih zgrada je smanjiti potrošnju neobnovljivih izvora energije i ovisnost o fosilnim gorivima te snabdijevati zgrade energijom iz obnovljivih izvora energije i povećati energetska učinkovitost zgrada. Da bi se uvjet zgrade neto nulte energije zadovoljio potrebno je smanjiti potrošnju energije uporabom učinkovitih tehnologija i iskoristiti obnovljive izvore energije kako bi se zadovoljila preostala potražnja. Zgrade neto nulte energije proizvodnjom energije iz obnovljivih izvora mogu zadovoljiti potrebe za godišnjim električnim i toplinskim opterećenjem i smanjiti svoj negativan utjecaj na okoliš te se na taj način postiže ušteda troškova energije tijekom životnog vijeka zgrade [5].

Zgrade neto nulte energije su energetska učinkovitije od tradicionalnih građevina i smanjuju ekološki otisak, što utječe na smanjenje emisija stakleničkih plinova. Implementacijom sustava kao što su korištenje kišnice, smanjenje potrošnje energije generirane iz neobnovljivih izvora energije, racionalno gospodarenje otpadom i smanjenje količine otpada te kontrola kvalitete zraka smanjuje štetu koja se nanosi ekosustavima i smanjuje uporabu i onečišćenje prirodnih resursa.

S druge strane, troškovi izgradnje takvih zgrada su visoki, ali se dugoročno osigurava učinkovitost i smanjuju se operativni troškovi, a dobrim upravljanjem se može održati ravnoteža između potrošnje i proizvodnje energije, smanjuje se negativan utjecaj na okoliš i osigurava se energetska sigurnost i neovisnost te se stvara energetska sigurna budućnost. Primjenom mikroprocesorskih sustava regulacije, senzora, mjernih instrumenata i računalnih programa za analizu podataka moguće je uspostaviti kvalitetno upravljanje energijom u zgradi te vršiti ispravno puštanje sustava u pogon, što dovodi do uštede energije i povećanja kvalitete stanovanja.

2.1. Zakonodavni okvir

S ciljem smanjenja stakleničkih plinova, Europska komisija je usvojila Europski zeleni plan, odnosno strategiju za postizanje održivosti gospodarstva Europske unije. Pomoću zelenog plana

Europska unija bi do 2050. godine trebala postati klimatski neutralna. Dio zelenog plana je i paket „Spremni za 55%“, koji se sastoji od niza prijedloga za reviziju zakonodavstva u području klime, energetike i prometa te za uvođenje novih zakonodavnih inicijativa kako bi se propisi Europske unije uskladili s njezinim klimatskim ciljevima. Europski parlament je 24. lipnja 2021. godine prihvatio Europsku klimatsku uredbu, kojom se zakonski obvezuje smanjiti emisije stakleničkih plinova za 55% do 2030. godine u usporedbi s razinama iz 1990. godine, te postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine [6].

Europska komisija preporučuje nove ciljeve koje Europska unija treba ispuniti kako bi postala klimatski neutralna do 2050. godine. Europska komisija preporučuje smanjenje neto emisija stakleničkih plinova za 90% do 2040. godine. Za smanjenje emisija potrebna je potpuna provedba postojećih propisa Europske unije kako bi se emisije smanjile za najmanje 55% do 2030. godine, dekarbonizacija industrije te povećanje domaće proizvodnje baterija, električnih vozila, dizalica topline i fotonaponskih ćelija [7].

Direktiva 2010/31/EU Europskog parlamenta i Vijeća navodi niz konkretnih mjera kako bi se ostvarila ušteda energije u zgradama, te kako bi se povećao broj zgrada koje ispunjavaju zahtjeve energetske učinkovitosti s ciljem smanjenja potrošnje energije i emisije stakleničkih plinova. U navedenoj Direktivi uvodi se pojam zgrade gotovo nulte energije, što označava zgradu koja ima vrlo visoku energetska učinkovitost. Direktiva bi trebala rezultirati ostvarenjem ciljeva Europske unije do 2030. godine, te smanjiti emisije stakleničkih plinova za 55%, povećati udio obnovljivih izvora energije na 30%, te povećati energetska učinkovitost za 30% [1].

Države članice Europske unije obvezne su osigurati da sve nove zgrade od 31. prosinca 2020. godine zadovoljavaju uvjet zgrada gotovo nulte energije te da nove zgrade koje koristi država, odnosno one u kojima se nalaze državna tijela, moraju zadovoljavati uvjet zgrada gotovo nulte energije nakon 31. prosinca 2018. godine. Zgrade javne namjene u vlasništvu države su građevine u kojima se obavljaju društvene djelatnosti ljudi poput odgoja i obrazovanja, znanost, sporta, zdravstva i socijalne pomoći te gdje se nalaze organizacije lokalnih i područnih uprava i pravnih i državnih institucija, zgrade društvenih i vjerskih zajednica. [1].

Postojeće zgrade ne moraju ispunjavati uvjete zgrada gotovo nulte energije osim u slučaju nadogradnje ili prenamjene negrijanog prostora u grijani, kada je površina veća ili jednaka 50 m². Ako je površina veća od 50 m², tada taj dio mora zadovoljiti uvjete zgrada gotovo nulte energije.

Odredbe Direktive vezano za zgrade gotovo nulte energije prenesene su u naše zakonodavstvo kroz „*Zakon o gradnji*“ i „*Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama*“ [1].

Cilj direktive je unaprijediti energetska učinkovitost zgrada, uzimajući u obzir različite klimatske i lokalne uvjete, postaviti minimalne zahtjeve i zajednički okvir za izračun energetske učinkovitosti i ubrzati troškovno učinkovitu obnovu postojećih zgrada i promovirati pametne tehnologije u zgradama. Revizijom direktive o energetska svojstvima zgrade uspostavljaju se ambiciozniji standardi energetske učinkovitosti za obnovljene zgrade u Europskoj uniji [8].

2.2. Karakteristike zgrada gotovo nulte energije

Da bi zadovoljila zahtjev gotovo nulte energije, zgrada mora proizvoditi energiju pomoću obnovljivih izvora energije, odnosno mora proizvesti toliko energije koliko je potrebno da se potrošnja primarne energije iz neobnovljivih izvora smanji na razinu potrošnje koja je propisana „*Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama*“. Zgrada je neto nulti potrošač energije ako je količina isporučene energije zgradi jednaka količini energije koju zgrada vrati u javnu energetska mrežu ili ako se sva potrebna energija dobiva generiranjem iz obnovljivih izvora energije na lokaciji zgrade. Kako bi zgrada bila neto nulti potrošač energije prvo je potrebno zadovoljiti sve zahtjeve za zgrade gotovo nulte energije [1].

Visoka energetska svojstva karakteriziraju zgrade gotovo nulte energije, te se dio potrebne energije namiruje iz obnovljivih izvora energije. Također, zgrada gotovo nulte energije je ona čija godišnja potrebna toplinska energija za grijanje i godišnja primarna energija po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade nije veća od dopuštenih vrijednosti definiranih u „*Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama*“. Zahtjevi za minimalna energetska svojstva zgrada gotovo nulte energije rezultiraju manjom potrebnom energijom za grijanje i hlađenje te isporučenom i primarnom energijom, što zahtijeva precizne energetske

proračune vanjske ovojnice zgrade i tehničkih sustava [1]. Na slici 2.2. prikazani su zahtjevi godišnje potrebne toplinske energije za grijanje i godišnje primarne energije za nove zgrade iz „Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama“.

ZAHTJEVI ZA NOVE ZGRADE	$Q_{H,nd}$ [kWh/(m ² ·a)]						E_{prim} [kWh/(m ² ·a)]	
	nZEB						nZEB	
	VRSTA ZGRADE	kontinent, $\theta_{mm} \leq 3$ °C			primorje, $\theta_{mm} > 3$ °C			kont $\theta_{mm} \leq 3$ °C
$f_0 \leq 0,20$		$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$		
Višestambena	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	80	50
Obiteljska kuća	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$17,16 + 38,42 \cdot f_0$	57,50	45	35
Uredska	16,94	$8,82 + 40,58 \cdot f_0$	51,43	16,19	$11,21 + 24,89 \cdot f_0$	37,34	35	25
Obrazovna	11,98	$3,86 + 40,58 \cdot f_0$	46,48	9,95	$4,97 + 24,91 \cdot f_0$	31,13	55	55
Bolnica	18,72	$10,61 + 40,58 \cdot f_0$	53,21	46,44	$41,46 + 24,89 \cdot f_0$	67,60	250	250
Hotel i restoran	35,48	$27,37 + 40,58 \cdot f_0$	69,98	11,50	$6,52 + 24,89 \cdot f_0$	32,65	90	70
Sportska dvorana	96,39	$88,28 + 40,58 \cdot f_0$	130,89	37,64	$32,66 + 24,91 \cdot f_0$	58,82	210	150
Trgovina	48,91	$40,79 + 40,58 \cdot f_0$	83,40	13,90	$8,92 + 24,91 \cdot f_0$	35,08	170	150
Ostale nestambene	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	/	/

Slika 2.2. Najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade grijane i/ili hladene na temperaturu 18 °C ili više [9]

Potrebna toplinska energija za grijanje je količina toplinske energije koju je potrebno osigurati u grijanom prostoru kako bi se u njemu održavala minimalna potrebna temperatura, te se označava s $Q_{H,nd}$, a izražava se u $\frac{\text{kWh}}{\text{god}}$. Potrebna energija za hlađenje je količina topline koju je potrebno odvesti iz hlađenog prostora s ciljem održavanja željene temperature, a označavamo ju s $Q_{C,nd}$ i izražava se u $\frac{\text{kWh}}{\text{god}}$. Potrebna energija za grijanje i potrebna energija za hlađenje ovise o lokaciji zgrade, građevnim karakteristikama zgrade i namjeni zgrade [1].

Isporučena energija je količina energije koju je potrebno isporučiti zgradi za rad tehničkih sustava, a ovisno o tipu objekta računa se za sustave grijanja, hlađenja, pripreme potrošne tople vode, mehaničke ventilacije i rasvjete te ovisi o potrebnoj energiji i učinkovitosti tehničkog sustava. Isporučena energija označava se s E_{del} i izražava se u $\frac{\text{kWh}}{\text{god}}$. Primarna energija predstavlja umnožak isporučene količine energenta i faktora primarne energije, a označava se s E_{prim} [1].

Kako bi zgrada bila neto nulte energije potrebno je provesti određene postupke u fazi projektiranja s ciljem postizanja energetske učinkovitosti. Tijekom projektiranja provode se aktivne i pasivne metode. Pasivne metode uključuju odabir povoljne lokacije, orijentacije zgrade i odabir materijala, a aktivne metode sastoje se od optimizacije sustava grijanja, ventilacije i klimatizacije pri čemu je

potrebno proračunati potrebnu količinu energije i razviti sustave za zadovoljavanje energetske potrebe zgrade. Inteligentno upravljanje radom i nadzor pojedinih skupina trošila može smanjiti potrošnju energije i troškova te povećati sigurnosti uporabe [10].

Zgrade gotovo nulte energije moraju zadovoljiti zahtjeve koji ovise o namjeni zgrade i lokaciji. Karakteristike zgrada koje utječu na potrebnu energiju za grijanje i hlađenje su kvaliteta ovojnice zgrade, faktor oblika, orijentacija zgrade i otvora te zaštita od Sunca.

Cilj ovog diplomskog rada je zadovoljiti uvjet zgrade neto nulte energije, stoga će biti potrebno zadovoljiti godišnju potrebnu toplinsku energiju za grijanje te primarnu energiju. Kako bi se zadovoljio uvjet godišnje potrebne toplinske energije za grijanje, predviđjet će se prikladna debljina toplinske izolacije vanjske ovojnice zgrade te će biti ugrađeni visokoučinkoviti otvori uz odgovarajuću zaštitu od sunčeva zračenja kako bi se izbjeglo pregrijavanje u ljetnim mjesecima. Na primarnu energiju utjecaj ima termotehnički sustav, stoga kako bi se smanjila potrebna toplinska energija za zagrijavanje potrošne tople vode upotrijebit će se toplina otpadne vode za predgrijavanje, a za generiranje električne energije koristit će se fotonaponski sustav. S ciljem dodatnog smanjenja ekološkog otisaka zgrade, pomoću sustava za prikupljanje kišnice osigurat će se ušteda voda za ispiranje WC – a. Utjecaji vanjske ovojnice zgrade, faktora oblika, orijentacije zgrade i otvora te zaštita od sunčeva zračenja opisani su u sljedećim potpoglavljima.

2.2.1. Vanjska ovojnica zgrade

Prilikom izgradnje potrebno je obratiti pažnju na izbor materijala, odnosno potrebno je koristiti materijale koji su toplinski stabilni. Toplinska stabilnost građevnog elementa podrazumijeva svojstvo očuvanja temperature na njegovoj unutrašnjoj površini promjenom temperature vanjskog zraka. Ako elementi vanjske ovojnice zgrade nemaju dovoljnu toplinsku stabilnost, tada će se temperatura zraka u zgradi mijenjati u ovisnosti o temperaturi vanjskog zraka. Kvaliteta vanjske ovojnice zgrade ovisi o kvaliteti njezine izrade i debljini toplinske izolacije koja ima velik utjecaj na energiju potrebnu za grijanje. Koeficijent prolaza topline građevnih elemenata vanjske ovojnice zgrade mora odgovarati zahtjevima važećih propisa. „*Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama*“ definira najveće dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaza topline građevnih dijelova novih zgrada i nakon rekonstrukcije postojećih zgrada. Kako bi

se smanjili toplinski gubici kroz građevne elemente vanjske ovojnice zgrade potrebno je primijeniti visoku razinu toplinske izolacije vanjske ovojnice zgrade i izbjegavati toplinske mostove. Ugradnjom dostatne debljine toplinske izolacije na vanjske zidove i pravilnom izvedbom, moguće je potrošnju energije smanjiti za 50%. Za toplinsku izolaciju vanjske ovojnice zgrade, najčešće se koristi kamena i staklena mineralna vuna, te ekspanzirani polistiren.

Toplinski most je mjesto smanjena otpora prolazu topline u odnosu na osnovnu konstrukciju u kojoj se nalazi, odnosno to je područje u ovojnici grijanog dijela zgrade kroz koje je toplinski tok povećan zbog promjene materijala, debljine ili geometrije građevnog dijela. Toplinski mostovi imaju utjecaj na ukupne toplinske gubitke ovojnice zgrade, stoga je potrebno primijeniti odgovarajuće metode kako bi se smanjio njihov negativan utjecaj. Poboljšanjem toplinske zaštite vanjske ovojnice zgrade povećava se razina učinkovitosti uporabe energije u zgradi.

2.2.2. Oblik zgrade i orijentacija

Prilikom projektiranja potrebno je uzeti u obzir oblik same zgrade jer on ima utjecaj na energetske potrebe zgrade. Poželjno je da je zgrada što kompaktnija jer je tada površina ovojnice zgrade manja u odnosu na volumen grijanog prostora, što za posljedicu ima manji gubitak topline, odnosno faktor oblika je manji te je potrebno koristiti manje toplinske izolacije, te to rezultira nižim troškovima. Potrebno je pripaziti na udaljenost od ostalih zgrada kako ne bi došlo do međusobnog zasjenjivanja.

Vrlo je bitna i orijentacija zgrade. Zgradu je poželjno smjestiti na mjesto izloženo sunčevu zračenju, koje ne zasjenjuje druge kuće, a zaštićeno je od jakih vjetrova. Prostorije se smještaju prema sličnim funkcijama i unutrašnjim projektnim temperaturama. Prostorije niže temperature poput pomoćnih prostorija i spremišta, smještaju se na sjevernu stranu pročelja, a dnevne prostorije, odnosno prostorije za dugotrajan boravak poput dnevnog boravka, smještaju se na južnu stranu, te se na taj način smanjuju transmisijski gubici i omogućava se iskorištavanje sunčeve energije. Prostorije poput kuhinje i spavaće sobe smještaju se na istočnu stranu pročelja, kako bi se iskoristila sunčeva svjetlost u jutarnjim satima, a blagovaonica se smješta na zapadnu stranu, zbog iskorištavanja sunčeve svjetlosti u poslijepodnevni satima.

2.2.3. Otvori i zaštita od sunčeva zračenja

Otvori na zgradama istovremeno propuštaju sunčevo zračenje i osiguravaju određenu razinu prirodnog osvjetljenja prostora, ali služe i kao zaštita od vanjskih utjecaja te toplinskih gubitaka. Radi postizanja veće energetske učinkovitosti biraju se prozori koji imaju veću propusnost vidljive svjetlosti, a što nižu sunčevu propusnost. Orijehtacija prostorija i otvora u zgradama je vrlo bitna i zbog rasvjete koju dnevna sučeva svjetlost omogućava. Dnevna svjetlost omogućava prirodnu rasvjetu, utječe na udobnost korisnika prostora, ali i štedi energiju potrebnu za rasvjetu, kao i za grijanje i hlađenje. Stoga je potrebno ispravno pozicionirati prozore kako bi se ostakljene površine iskoristile maksimalno za prirodnu rasvjetu.

Za zaštitu od sunčeva zračenja mogu se primijeniti vanjske i unutrašnje naprave, a najučinkovitije su naprave s vanjske strane ovojnice zgrade. Optimalno rješenje bi bilo kada bi sustav zasjenjenja omogućio promjenjivo zasjenjenje u ovisnosti o trenutnim klimatskim uvjetima, poput automatiziranog sustava upravljanja roletama i zavjesama. Prilikom zaštite od Sunca potrebno je voditi računa da se u zimskom periodu propušta toplina, a da se prostorije u ljetnom periodu štite od pregrijavanja napravama za zaštitu od sunčeva zračenja i zelenilom.

3. TOPLINSKA BILANCA HOTELA

Zgrada hotela ukupne površine 1974 m², nalazi se u primorskoj Hrvatskoj u Rijeci. Zgrada se proteže na sedam etaža. U podrumu je smješten fitness, spremište te sanitarije i garderobe za osoblje hotela. U prizemlju hotela nalaze se restoran i recepcija, dok se na preostale četiri etaže nalaze spavaće sobe za goste hotela, a na krovu hotela smještena je otvorena terasa. Građevina je poluugrađena na istočnom pročelju, gdje se nalazi stambeno-poslovni objekt. Pristup hotelu omogućen je sa sjeverne strane zgrade hotela.

Proračun toplinskih gubitaka vršen je prema normi HRN EN 12831. Proračun toplinskih gubitaka provodi se s ciljem održavanja konstantne unutarnje projektne temperature prostorija obzirom na vanjsku projektnu temperaturu za zadanu lokaciju, te odabira odgovarajućeg izvora topline. Vanjska projektna temperatura za Rijeku iznosi – 8 °C. Toplinski gubici računaju se za stacionarno stanje, odnosno pretpostavlja se da su raspodjele temperature zraka u prostoriji i vanjska temperatura zraka jednolike, te da su fizikalna svojstva zraka i građevnih elemenata konstantna. Proračun toplinskih gubitaka vrši se proračunom transmisivskih i ventilacijskih gubitaka.

Proračun toplinskog opterećenja provodi se u skladu s normom VDI 2078. Toplinsko opterećenje predstavlja toplinsku energiju koja se dovodi iz vanjskih ili unutarnjih izvora topline u hlađeni prostor, odnosno toplinsko opterećenje je toplinski tok koji se mora odvesti iz hlađenog prostora s ciljem održavanja konstantne temperature prostorije. Proračun se provodi za različite sate zbog promjene temperature vanjskog zraka i intenziteta sunčeva zračenja. Vanjska projektna temperatura za potrebe proračuna za zadanu lokaciju iznosi 34 °C. Za proračun toplinskih gubitaka i toplinskog opterećenja korišten je računalni program „IntegraCAD“.

3.1. Proračun toplinskih gubitaka

3.1.1. Transmisivski toplinski gubici

Ukupni transmisivski toplinski gubici prostora iznose:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \quad [W] \quad (3.1.)$$

gdje je:

$H_{T,ie}$ – koeficijent transmisijškoga gubitka topline od grijana prostora prema vanjskom okolišu kroz ovojnicu zgrade $\left[\frac{W}{K}\right]$,

$H_{T,iue}$ – koeficijent transmisijškoga gubitka topline od grijana prostora prema vanjskom okolišu kroz negrijani prostor $\left[\frac{W}{K}\right]$,

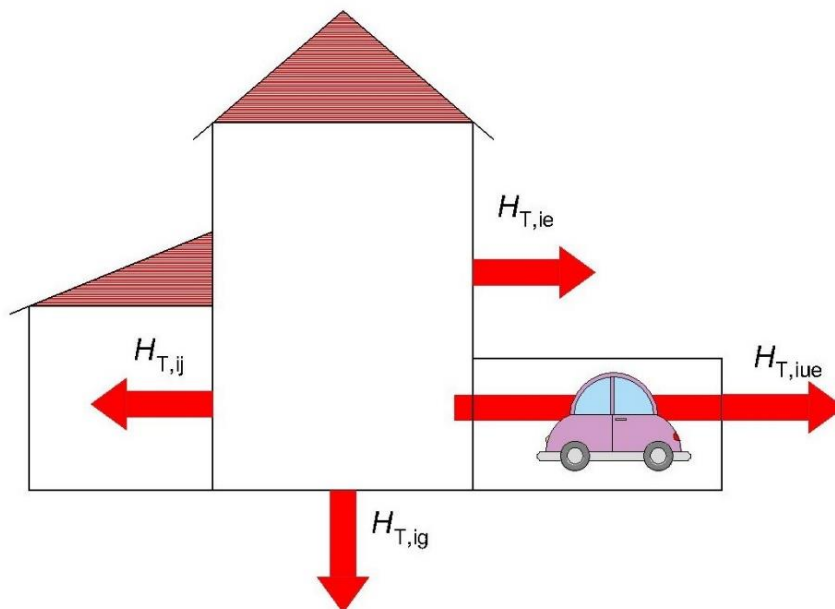
$H_{T,ig}$ – koeficijent transmisijškoga gubitka topline od grijana prostora prema tlu $\left[\frac{W}{K}\right]$,

$H_{T,ij}$ – koeficijent transmisijškoga gubitka topline od grijana prostora prema susjednom prostoru grijanom na nižu temperaturu $\left[\frac{W}{K}\right]$,

$\vartheta_{int,i}$ – unutarnja projektna temperatura grijana prostora $[^{\circ}C]$,

ϑ_e – vanjska projektna temperatura $[^{\circ}C]$.

Na slici 3.1. prikazani su transmisijški toplinski gubici grijanog prostora.



Slika 3.1. Prikaz transmisijških toplinskih gubitaka

Za proračun transmisijških toplinskih gubitaka potrebno je odrediti koeficijente prolaza topline građevnih dijelova hotela. Koeficijenti prolaza topline građevnih elemenata proračunati su za

definirane sastave građevnih elemenata, a sastavi su određeni tako da bi se zadovoljili zahtjevi „Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama“. Proračunati koeficijenti prolaza topline nalaze u tablici 3.1.

Tablica 3.1. Koeficijenti prolaza topline

Element	U_k [W/(m ² K)]
Krov iznad grijanog prostora	0,08
Vanjski zid	0,18
Zid prema tlu	0,23
Podovi na tlu	0,31
Zid prema negrijanom prostoru	0,35
Zid prema grijanom prostoru	0,57
Prozor	0,80
Vjetrobran	0,80
Vanjska vrata	0,80
Unutarnja vrata	2,00

Za proračun je također potrebno odrediti unutarnje projektne temperature prostorija prema namjeni prostorije. Projektne temperature prostorija prikazane su u tablici 3.2.

Tablica 3.2. Unutarnje projektne temperature prostorija

Namjena prostorije	t_{int} [°C]
Hodnik i spremište	18
WC	18
Recepcija	18
Garderoba	20
Fitness	20
Kuhinja	20
Restoran	20
Hodnik i stubište	20
Spavaća soba	22
Kupaonica	24

Koeficijent transmisijškoga gubitka topline iz grijana prostora prema vanjskome okolišu

Koeficijent transmisijškoga gubitka topline iz grijana prostora prema vanjskome okolišu računa se prema izrazu:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \quad \left[\frac{W}{K} \right] \quad (3.2.)$$

gdje je:

A_k – površina građevnog elementa [m^2],

U_k – koeficijent prolaza topline građevnog elementa $\left[\frac{W}{m^2K} \right]$.

Zbog pojednostavljenja proračuna koeficijent prolaza topline građevna elementa korigira se za utjecaj toplinskih mostova. Korigirani koeficijent prolaza topline iznosi:

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tm} \quad \left[\frac{W}{m^2K} \right] \quad (3.3.)$$

gdje je:

U_{kc} – korigirani koeficijent prolaza topline građevnih elemenata $\left[\frac{W}{m^2K} \right]$,

U_k – koeficijent prolaza topline građevna elementa $\left[\frac{W}{m^2K} \right]$,

ΔU_{tm} – korekcijski faktor ovisan o tipu građevna elementa $\left[\frac{W}{m^2K} \right]$.

Korigirani koeficijenti prolaza topline korišteni su za građevne elemente poput vanjskih zidova, zidova prema negrijanim prostorima, podova i otvora. Korišteni korekcijski faktor iznosi $\Delta U_{tm} = 0,02 \frac{W}{m^2K}$.

Transmisijski gubici kroz negrijane prostore

Koeficijent transmisijskog gubitka topline iz grijana prostora u okoliš kroz negrijani prostor računa se prema izrazu:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u \quad \left[\frac{W}{K} \right] \quad (3.4.)$$

gdje je:

b_u – temperaturni redukcijski faktor koji uzima u obzir razliku temperature negrijana prostora i vanjske projektne temperature.

Ako temperatura negrijana prostora nije poznata, tada se redukcijski faktor b_u očitava iz norme HRN EN 12831 za građevne elemente koji odvajaju grijani od negrijana prostora, a ako je temperatura negrijana prostora poznata ili se računa tada faktor b_u iznosi:

$$b_u = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_u}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \quad (3.5.)$$

gdje je:

$\vartheta_{int,i}$ – unutarnja projektna temperatura grijana prostora [°C],

ϑ_u – unutarnja projektna temperatura negrijana prostora [°C],

ϑ_e – vanjska projektna temperatura [°C].

Koeficijent transmisijškoga gubitka topline od grijana prostora prema tlu

Gubici topline kroz podove i zidove podruma ovise o površini poda i izloženom opsegu, dubini podrumskoga poda te toplinskim svojstvima tla. Koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijana prostora prema tlu računa prema sljedećem izrazu:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \left(\sum_k A_k \cdot U_{ekv,k} \right) \cdot G_w \quad \left[\frac{W}{K} \right] \quad (3.6.)$$

gdje je:

f_{g1} – korekcijski faktor utjecaja godišnjih promjena vanjske temperature, predložena vrijednost iznosi 1,45,

f_{g2} – korekcijski faktor koji uzima u obzir razliku između srednje godišnje i projektne vanjske temperature zraka,

A_k – površina građevna elementa koji je u dodiru s tlom [m^2],

$U_{ekv,k}$ – ekvivalentni koeficijent prolaza topline [$\frac{W}{m^2K}$],

G_w – korekcijski faktor utjecaja podzemnih voda.

Korekcijski faktor koji uzima u obzir razliku između srednje godišnje i projektne vanjske temperature zraka iznosi:

$$f_{g2} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{m,e}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \quad (3.7.)$$

gdje je:

$\vartheta_{int,i}$ – unutarnja projektna temperatura grijana prostora [$^{\circ}C$],

$\vartheta_{m,e}$ – srednja godišnja temperatura zraka [$^{\circ}C$],

ϑ_e – vanjska projektna temperatura zraka [$^{\circ}C$].

Koeficijent transmisijškoga gubitka topline od grijana prostora prema susjednom prostoru koji se grije na nižu temperaturu

Ovaj koeficijent opisuje izmjenu topline između dva prostora koja su grijana na različitu temperaturu, a proračunava se prema izrazu:

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k \quad \left[\frac{W}{K} \right] \quad (3.8.)$$

gdje je:

f_{ij} – korekcijski faktor koji uzima u obzir razliku između temperature susjedna prostora i vanjske temperature,

A_k – površina građevna elementa [m^2],

U_k – koeficijent prolaza topline građevna elementa [$\frac{W}{m^2K}$].

Korekcijski faktor koji uzima u obzir razliku između temperature susjedna prostora i vanjske temperature iznosi:

$$f_{ij} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{adj}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \quad (3.9.)$$

gdje je:

ϑ_{adj} – temperatura susjedna prostora [$^{\circ}C$].

Pri proračunu izmjene topline sa susjednim prostorom, utjecaj toplinskih mostova ne uzima se u obzir.

3.1.2. Ventilacijski toplinski gubici grijanog prostora

Bez ventilacijskog sustava

Izmijenjeni toplinski tok uslijed ventilacijskih toplinskih gubitaka grijanog prostora izračunava se prema izrazu:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \quad [W] \quad (3.10.)$$

gdje je:

$H_{V,i}$ – projektni koeficijent ventilacijskih gubitaka topline [$\frac{W}{K}$],

$\vartheta_{int,i}$ – unutarnja projektna temperatura grijana prostora [$^{\circ}C$],

ϑ_e – vanjska projektna temperatura [°C].

Projektni koeficijent ventilacijskih gubitaka topline iznosi:

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i \left[\frac{W}{K} \right] \quad (3.11.)$$

gdje je:

\dot{V}_i – protok zraka kroz grijani prostor $\left[\frac{m^3}{h} \right]$.

Kada se u grijanom prostoru ne koristi prisilna ventilacija, za vrijednost protoka zraka grijana prostora usvaja se veća vrijednost između protoka zraka infiltracijom u ovojnici zgrade i minimalno potrebnog protoka zraka iz higijenskih razloga:

$$\dot{V}_i = \max(\dot{V}_{inf,i}, \dot{V}_{min,i}) \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (3.12.)$$

gdje je:

$\dot{V}_{inf,i}$ – infiltracija zraka kroz zazor u ovojnici zgrade $\left[\frac{m^3}{h} \right]$,

$\dot{V}_{min,i}$ – higijenski minimalni volumni protok zraka $\left[\frac{m^3}{h} \right]$.

Higijenski minimalni protok zraka iznosi:

$$\dot{V}_{min,i} = n_{min} \cdot V_P \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (3.13.)$$

gdje je:

n_{min} – minimalni broj izmjena zraka svježim zrakom [h^{-1}],

V_P – volumen grijana prostora [m^3].

Infiltracija zraka kroz zatore u ovojnici zgrade računa se prema izrazu:

$$\dot{V}_{\text{inf},i} = 2 \cdot V_P \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (3.14.)$$

gdje je:

n_{50} – broj izmjena zraka prostora u jednom satu pri razlici tlaka od 50 Pa između prostora i vanjskog okoliša [h^{-1}],

e_i – koeficijent zaklonjenosti,

ε_i – korekcijski faktor za visinu prostorije od tla.

Broj izmjena zraka prostora u jednom satu pri razlici tlaka od 50 Pa između prostora i vanjskog okoliša iznosi oko 2 h^{-1} za visoki stupanj zabrtvljenosti građevine, koja ima dobro zabrtvljene prozore i vrata. Koeficijent zaštićenosti odabran je za srednju klasu zaštićenosti, odnosno za građevine okružene drvećem i drugim zgradama, a korekcijski faktor za visinu ovisi o visini grijanog prostora iznad tla.

S ventilacijskim sustavom

Protok zraka grijanog prostora s mehaničkom ventilacijom iznosi:

$$\dot{V}_i = \dot{V}_{\text{inf},i} + \dot{V}_{\text{su},i} \cdot f_{V,i} + \dot{V}_{\text{mech,inf},i} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (3.15.)$$

gdje je:

$\dot{V}_{\text{inf},i}$ – infiltracija zraka kroz fuge u ovojnici zgrade [$\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$],

$\dot{V}_{\text{su},i}$ – protok dovodnog ventilacijskog zraka [$\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$],

$f_{V,i}$ – korekcijski faktor temperature,

$\dot{V}_{\text{mech,inf},i}$ – višak odvodnog zraka [$\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$].

Korekcijski faktor temperature iznosi:

$$f_{V,i} = \frac{\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_{\text{su},i}}{\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_e} \quad (3.16.)$$

gdje je:

$\vartheta_{\text{int},i}$ – unutarnja projektna temperatura prostorije [$^{\circ}\text{C}$],

$\vartheta_{\text{su},i}$ – temperatura dobavna zraka [$^{\circ}\text{C}$],

ϑ_e – vanjska projektna temperatura prostorije [$^{\circ}\text{C}$].

Višak odvedena zraka za cijelu zgradu iznosi:

$$\dot{V}_{\text{mech,inf}} = \max(\dot{V}_{\text{ex}} - \dot{V}_{\text{su}}) \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (3.17.)$$

gdje je:

\dot{V}_{ex} – protok odvedenog ventilacijskog zraka $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$,

\dot{V}_{su} – protok dovedenog ventilacijskog zraka $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$.

3.1.3. Toplinsko opterećenje cijele zgrade

$$\Phi_{\text{HL},i} = \sum_i \Phi_{\text{T},i} + \sum_i \Phi_{\text{V},i} \quad [\text{W}] \quad (3.18.)$$

gdje je:

$\sum_i \Phi_{\text{T},i}$ – suma transmisijskih toplinskih gubitaka svih grijanih prostora [W],

$\sum_i \Phi_{\text{V},i}$ – suma ventilacijskih toplinskih gubitaka svih grijanih prostora [W].

Tablica 3.3. Ukupni toplinski gubici po prostorijama za podrum, prizemlje, 1. i 2. kat

Etaža	Prostorija	Φ_T [W]	Φ_V [W]	Φ_{UK} [W]
Podrum	WC ženski	31	0	31
	WC muški	32	0	32
	Predgarderoba	92	113	205
	Gospodarski hodnik	222	377	599
	Garderoba	96	118	214
	Fitness	526	1649	2175
	WC za invalide	19	0	19
Ukupni toplinski gubici podruma			3275 W	
Prizemlje	Restoran	1353	4356	5709
	Recepcija i stubište	642	1142	1784
	Kuhinja	600	8261	8861
Ukupni toplinski gubici prizemlja			16354 W	
1. kat	Modul 1	124	192	316
	Modul 1 - kupaonica	73	112	185
	Ured	21	59	80
	Modul 2	161	279	440
	Modul 2 - kupaonica	76	134	210
	Modul 3	108	186	294
	Modul 3 - kupaonica	76	134	210
	Modul 4	97	167	264
	Modul 4 - kupaonica	76	134	210
	Apartman 1	172	298	470
	Apartman 1 - kupaonica	76	134	210
	Modul 5	151	260	411
	Modul 5 - kupaonica	76	134	210
Stubište i hodnik	334	924	1258	
Ukupni toplinski gubici 1. kata			4768 W	
2. kat	Modul 6	124	192	316
	Modul 6 - kupaonica	73	112	185
	Ured	21	59	80
	Modul 7	161	279	440
	Modul 7 - kupaonica	76	134	210
	Modul 8	108	186	294
	Modul 8 - kupaonica	76	134	210
	Modul 9	97	167	264
	Modul 9 - kupaonica	76	134	210
	Apartman 2	172	298	470
	Apartman 2 - kupaonica	76	134	210
Modul 10	151	260	411	

Tablica 3.4. Ukupni toplinski gubici po prostorijama za 2. kat, 3. kat, 4. kat i krovnu etažu

Etaža	Prostorija	Φ_T [W]	Φ_V [W]	Φ_{UK} [W]
2. kat	Modul 10 - kupaonica	76	134	210
	Stubište i hodnik	334	924	1258
Ukupni toplinski gubici 2. kata			4768 W	
3. kat	Modul 11	124	192	316
	Modul 11 - kupaonica	73	112	185
	Ured	21	59	80
	Modul 12	161	279	440
	Modul 12 - kupaonica	76	134	210
	Modul 13	108	186	294
	Modul 13 - kupaonica	76	134	210
	Modul 14	97	167	264
	Modul 14 - kupaonica	76	134	210
	Apartman 3	172	298	470
	Apartman 3 - kupaonica	76	134	210
	Modul 15	151	260	411
	Modul 15 - kupaonica	76	134	210
	Stubište i hodnik	334	924	1258
Ukupni toplinski gubici 3. kata			4768 W	
4. kat	Modul 16	186	192	378
	Modul 16 - kupaonica	113	112	225
	Ured	54	89	143
	Modul 17	268	279	547
	Modul 17 - kupaonica	125	134	259
	Modul 18	180	186	366
	Modul 18 - kupaonica	125	134	259
	Modul 19	160	167	327
	Modul 19 - kupaonica	125	134	259
	Apartman 4	284	298	582
	Apartman 4 - kupaonica	125	134	259
	Modul 20	247	260	507
	Modul 20 - kupaonica	123	134	257
	Stubište i hodnik	548	894	1442
Ukupni toplinski gubici 4. kata			5810 W	
Krov	WC	194	221	415
Ukupni toplinski gubici krovne etaže			415 W	

Tablica 3.5. Ukupni toplinski gubici zgrade hotela

Ukupni toplinski gubici	Φ_T	Φ_V	Φ_{UK}
	[W]	[W]	[W]
	11333	28825	40158

U tablici 3.3. prikazani su ukupni toplinski gubici po prostorijama za etaže podruma, prizemlja, 1. i 2. kata, a u tablici 3.4. prikazani su ukupni toplinski gubici po prostorijama za 2. kat, 3. kat, 4. kat i krovnu etažu. U tablici 3.5. prikazani su ukupni toplinski gubici za zgradu hotela.

3.2. Proračun toplinskog opterećenja

Toplinski dobici predstavljaju toplinsku energiju koja se dovodi u hlađeni prostor iz vanjskih ili unutarnjih izvora topline u jedinici vremena, a ukupno toplinsko opterećenje predstavlja zbroj vanjskog i unutarnjeg opterećenja. Ukupno toplinsko opterećenje iznosi:

$$\phi_{UK} = \phi_{UN} + \phi_{VAN} \quad [W] \quad (3.19.)$$

U tablici 3.6. prikazane su unutarnje projektne temperature hlađenih prostorija.

Tablica 3.6. Unutarnje projektne temperature hlađenih prostorija hotela

Namjena prostorije	t_{int} [°C]
Recepcija	22
Fitness	24
Spavaća soba	24
Restoran	24
Kuhinja	24

3.2.1. Unutarnje toplinsko opterećenje

Unutarnje toplinsko opterećenje nastaje uslijed dobitaka osjetne i latentne topline od toplinskih izvora unutar prostora.

Toplinsko opterećenje zbog izvora topline u prostoriji iznosi:

$$\phi_{UN} = \phi_{OS} + \phi_{RAS} + \phi_{SUO} + \phi_{PROL} + \phi_{OST} \quad [W] \quad (3.20.)$$

gdje je:

ϕ_{OS} – toplina koju odaju osobe [W],

ϕ_{RAS} – toplina koju odaju rasvjetna tijela [W],

ϕ_{SUO} – toplina koju odaju strojevi, uređaji i ostala oprema [W],

ϕ_{PROL} – toplina koju odaju predmeti i tvari prilikom prenošenja kroz prostoriju [W],

ϕ_{OST} – toplina koju odaju ostali izvori [W].

Toplina koju odaje osoba iznosi:

$$\phi_{OS} = n \cdot \phi_0 \cdot s_{UN} \quad [W] \quad (3.21.)$$

gdje je:

n – broj osoba u prostoriji,

ϕ_0 – toplina koju odaje jedna osoba [W],

s_{UN} – faktor toplinskog opterećenja za unutrašnje izvore.

Toplina koju odaje jedna osoba jednaka je zbroju osjetne i latentne topline, a ovisi o temperaturi zraka u prostoriji i razini fizičke aktivnosti.

Toplina koju odaju rasvjetna tijela iznosi:

$$\phi_{RAS} = \dot{P}_{RAS} \cdot I_{IR} \cdot \mu_{OR} \cdot s_{UN} \quad [W] \quad (3.22.)$$

gdje je:

\dot{P}_{RAS} – ukupna instalirana električna snaga svih rasvjetnih tijela [W],

I_{IR} – faktor istovremenosti rasvjete,

μ_{OR} – stupanj toplinskog opterećenja prostorije rasvjetom,

s_{UN} – faktor toplinskog opterećenja za unutrašnje izvore.

Toplina koju odaju strojevi i uređaji iznosi:

$$\phi_{SUO} = I_{IS} \cdot s_{UN} \sum \frac{\dot{P}_{SUO}}{\eta} \cdot \mu_{OS} \quad [W] \quad (3.23.)$$

gdje je:

I_{IS} – stupanj istodobnosti pogona,

s_{UN} – faktor toplinskog opterećenja za unutrašnje izvore,

\dot{P}_{SUO} – nazivna snaga stroja, uređaja ili opreme [W],

η – stupanj djelovanja motora,

μ_{OS} – stupanj opterećenja stroja, uređaja ili opreme.

3.2.2. Vanjsko toplinsko opterećenje

Vanjsko toplinsko opterećenje nastaje uslijed toplinskih dobitaka od vanjskih izvora kroz vanjsko oplošje zgrade i kroz pregradne zidove.

Toplinsko opterećenje prostorije zbog izvora topline izvan prostorije iznosi:

$$\phi_{VAN} = \phi_{V.ZID} + \phi_{PROZ.K} + \phi_{PROZ.Z} + \phi_{VENT} + \phi_{U.ZID} \quad [W] \quad (3.24.)$$

gdje je:

$\phi_{V.ZID}$ – toplina dovedena iz okoliša kroz vanjske zidove ili krov [W],

$\phi_{PROZ.K}$ – toplina dovedena iz okoliša kroz prozore [W],

$\phi_{PROZ.Z}$ – toplina dovedena iz okoliša zračenjem kroz ostakljene površine [W],

ϕ_{VENT} – toplina dovedena iz okoliša prirodnom ventilacijom [W],

$\phi_{U.ZID}$ – toplina dovedena iz susjednih prostora kroz unutarnje zidove, vrata, pod ili strop [W].

Toplina dovedena iz okoliša kroz vanjski zid ili krov:

$$\phi_{V.ZID} = U_{V.ZID} \cdot A_{V.ZID} \cdot \Delta\vartheta_{EKV} \quad [W] \quad (3.25.)$$

gdje je:

$U_{V.ZID}$ – koeficijent prolaza topline vanjskog zida ili krova $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$,

$A_{V.ZID}$ – površina vanjskog zida ili krova $[m^2]$,

$\Delta\vartheta_{EKV}$ – ekvivalentna razlika temperatura $[^{\circ}C]$.

Ekvivalentna razlika temperatura očitava se iz tablica prema normi VDI 2078 za proračunski sat u danu, a treba ga korigirati u ovisnosti o Δz ovisno o izvedbi zida ili krova. Ekvivalentna razlika temperatura za stvarne uvjete računa se prema izrazu:

$$\Delta\vartheta_{EKV,KOR} = \Delta\vartheta_{EKV} + (\vartheta_{V,SR,STV} - 24,5) + (22 - \vartheta_{P,STV}) \quad [^{\circ}C] \quad (3.26.)$$

Toplina dovedena iz okoliša kroz prozore iznosi:

$$\phi_{PROZ.K} = U_{PROZ} \cdot A_{PROZ} \cdot (\vartheta_V - \vartheta_P) \quad [W] \quad (3.27.)$$

gdje je:

U_{PROZ} – koeficijent prolaza topline prozora $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$,

A_{PROZ} – površina prozora $[m^2]$,

ϑ_V – temperatura vanjskog zraka $[^{\circ}C]$,

ϑ_P – temperatura zraka u prostoriji $[^{\circ}C]$.

Temperatura vanjskog zraka očitava se iz tablica u normi VDI 2078 u ovisnosti o promjeni temperature tijekom dana.

Toplina dovedena iz okoliša zračenjem kroz staklo iznosi:

$$\phi_{\text{PROZ.Z}} = A_{\text{STAKLO.UK}} \cdot \dot{G}_{\text{UK.MAX}} \cdot b_{\text{PR}} \cdot s_{\text{V}} \quad [\text{W}] \quad (3.28.)$$

gdje je:

$A_{\text{STAKLO.UK}}$ – ukupna površina stakla [m^2],

$\dot{G}_{\text{UK.MAX}}$ – maksimalno ukupno zračenje Sunca [$\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$],

b_{PR} – stupanj propusnosti prozora i naprave za zaštitu od sunčeva zračenja,

s_{V} – faktor toplinskog opterećenja za vanjske izvore topline.

Ukupna površina stakla:

$$A_{\text{STAKLO.UK}} = A_{\text{PROZ}} \cdot g \quad [\text{m}^2] \quad (3.29.)$$

gdje je:

A_{PROZ} – površina prozora [m^2],

g – udio stakla u površini prozora.

Stupanj propusnosti prozora i naprave za zaštitu od sunčeva zračenja iznosi:

$$b_{\text{PR}} = g_{\text{L}} \cdot F_{\text{C}} \quad (3.30.)$$

gdje je:

g_{L} - tip ostakljenja,

F_{C} – naprava za zaštitu od sunčeva zračenja.

Ukupno i raspršeno sunčevo zračenje moguće je očitati u pripadajućim tablicama u normi VDI 2078 prema stvarnom lokalnom vremenu i orijentaciji prostora za koji se vrši proračun.

Toplina dovedena iz susjednih prostora kroz unutarnje zidove, vrata, pod ili strop iznosi:

$$\phi_{U.ZID} = U_{U.ZID} \cdot A_{U.ZID} \cdot (\vartheta_{SUS} - \vartheta_P) \quad [W] \quad (3.31.)$$

gdje je:

$U_{U.ZID}$ – koeficijent prolaza topline unutarnjeg zida, stropa, vrata ili poda $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$,

$A_{U.ZID}$ – površina unutarnjeg zida, stropa ili poda $[m^2]$,

ϑ_{SUS} – temperatura zraka u susjednoj prostoriji ili temperatura tla $[^{\circ}C]$,

ϑ_P – temperatura zraka u prostoriji $[^{\circ}C]$.

Tablica 3.7. Ukupno toplinsko opterećenje zgrade hotela za podrum, prizemlje, 1. i 2. kat

Etaža	Prostorija	Φ_{UN} [W]	Φ_{VAN} [W]	Φ_{UK} [W]
Podrum	Fitness	2938	4835	7773
Ukupno toplinsko opterećenje podruma			7773 W	
Prizemlje	Restoran	11448	3609	15057
	Recepcija i stubište	1979	961	2940
	Kuhinja	1609	6900	8509
Ukupno toplinsko opterećenje prizemlja			26506 W	
1. kat	Modul 1	566	370	936
	Modul 2	601	272	873
	Modul 3	271	123	394
	Modul 4	271	123	394
	Apartman 1	523	236	759
	Modul 5	271	123	394
Ukupno toplinsko opterećenje 1. kata			3750 W	
2. kat	Modul 6	566	370	936
	Modul 7	601	272	873
	Modul 8	271	123	394
	Modul 9	271	123	394
	Apartman 2	523	236	759
	Modul 10	271	123	394
Ukupno toplinsko opterećenje 2. kata			3750 W	

Tablica 3.8. Ukupno toplinsko opterećenje zgrade hotela za 3. i 4. kat

Etaža	Prostorija	Φ_{UN} [W]	Φ_{VAN} [W]	Φ_{UK} [W]
3. kat	Modul 11	557	579	1136
	Modul 12	601	272	873
	Modul 13	271	123	394
	Modul 14	271	123	394
	Apartman 3	523	236	759
	Modul 15	271	123	394
Ukupno toplinsko opterećenje 3. kata			3950 W	
4. kat	Modul 16	566	401	967
	Modul 17	614	402	1016
	Modul 18	277	181	458
	Modul 19	277	181	458
	Apartman 4	535	350	885
	Modul 20	277	182	459
Ukupno toplinsko opterećenje 4. kata			4243 W	

Tablica 3.9. Ukupno toplinsko opterećenje zgrade hotela

Ukupno toplinsko opterećenje	Φ_{UN} [W]	Φ_{VAN} [W]	Φ_{UK} [W]
	28020	21952	49972

U tablici 3.7. prikazani su dobiveni rezultati proračuna toplinskog opterećenja za prostorije podruma, prizemlja, 1. i 2. kata, u tablici 3.8. prikazani su rezultati dobivenog toplinskog opterećenja za prostorije 3. i 4. kata, a u tablici 3.9. prikazano je ukupno toplinsko opterećenje zgrade hotela.

3.3. Proračun protoka zraka za ventilaciju i potrebnih učina grijanja i hlađenja zraka

Pri dimenzioniranju ventilacijskog sustava potrebno je odrediti protok zraka koji se dovodi pojedinim prostorijama u zgradi hotela. Ventilacija je predviđena za prostorije poput hodnika, garderoba, sanitarija i fitnessa u podrumu hotela te kuhinje i restorana u prizemlju. Proračun potrebnog protoka zraka za ventilaciju prostorija vrši se prema dva kriterija. Jedan od kriterija je određivanje potrebnog protoka vanjskog zraka prema broju izmjena zraka, a drugi kriterij je definiran prema broju osoba. Kao potreban protok zraka za ventilaciju prostorija usvaja se veća vrijednost dobivenog protoka između dva navedena kriterija.

Protok zraka prema broju izmjena zraka:

$$\dot{V} = V_p \cdot n \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (3.32.)$$

gdje je:

V_p – volumen prostorije [m^3],

n – broj izmjena zraka u vremenu [h^{-1}].

Broj izmjena zraka ovisi o visini, namjeni prostorije i izvorima onečišćenja.

Određivanje potrebna protoka vanjskog zraka prema broju osoba:

$$\dot{V} = V_{os} \cdot n_{os} \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (3.33.)$$

gdje je:

V_{os} – volumni protok vanjskog zraka po osobi $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{h,os}} \right]$,

n_{os} – broj osoba.

Preporučeni volumni protok vanjskog zraka po osobi iznosi $30 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ do $60 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$. Prostorije za koje je predviđena odsisna ventilacija, uglavnom sanitarne prostorije, protok zraka primarno se određuje prema broju izmjena zraka. Protok zraka za ventilaciju kuhinje, također se određuje prema broju izmjena zraka, dok se za prostorije restorana i fitnessa protok zraka određuje prema broju osoba. Za prostorije koje imaju tlačno-odisnu ventilaciju usvojeni protok vanjskog zraka po osobi iznosi $40 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$. U tablici 3.10. prikazane su usvojene vrijednosti potrebnog protoka zraka za ventilaciju prostorija. Ukupni potrebni protok zraka za ventilaciju hotela iznosi $9060 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$.

Tablica 3.10. Usvojeni protoci zraka po zonama

Zona	Usvojeni protok zraka
WC	480 m ³ /h
Fitness	1040 m ³ /h
Garderoba	340 m ³ /h
Hodnik i spremište	340 m ³ /h
Stubište	480 m ³ /h
Restoran	3680 m ³ /h
Kuhinja	2700 m ³ /h

U tablici 3.11. prikazani su potrebni učini grijanja i hlađenja zraka, koji su preuzeti iz „ATREA“ alata za proračun i odabir klima-komora za pripremu zraka. Potrebni učini grijanja i hlađenja zraka uključeni su u proračune toplinskih gubitaka i toplinskog opterećenja prikazane u prethodnim potpoglavljima.

Tablica 3.11. Potrebni učini grijanja i hlađenja zraka

Zone	Učin grijanja	Učin hlađenja
Fitness i hodnik	2,47 kW	4,70 kW
Restoran	6,07 kW	2,60 kW
Kuhinja	7,53 kW	8,60 kW

3.4. Proračun potrošnje potrošne tople vode

Proračun sustava potrošne tople vode vršen je prema uputama za projektiranje spremnika potrošne tople vode proizvođača „Viessmann“ [14]. Prilikom proračuna potrebe za toplom vodom potrebno je odrediti mjesta potrošnje, a u obzir se uzima samo najveće mjesto potrošnje te se određuje količina vode i zahtjev potrošnje na potrošnim mjestima po potrošnom mjestu. U tablici 3.12. prikazani su zahtjevi potrošnje prema mjestu potrošnje i ukupan broj potrošača u zgradi hotela. U spavaćim sobama i garderobama, najveće mjesto potrošnje je kada, odnosno tuš, a u ostalim prostorijama su umivaonik ili sudoper.

Tablica 3.12. Zahtjevi potrošnje prema mjestu potrošnje [14]

Mjesto potrošnje	Količina vode [l]	$Q_{h,max}$ [kWh]	Broj potrošača
Kada	170	10,5	8
Tuš	70	4,5	18
Umivaonik	20	1,2	27
Sudoper	30	1,16	8

Umnožak zahtjeva potrošnje na potrošnim mjestima po potrošnom mjestu i broja potrošnih mjesta za zgradu hotela iznosi 181 kWh.

4. TERMOTEHNIČKI SUSTAV

4.1. Tehnički opis sustava

Za hotel u Rijeci izrađen je glavni strojarSKI projekt sustava grijanja, hlađenja i ventilacije. Kao izvor energije predviđene su dvije kompresorske dizalice topline zrak-voda, smještene u toplinsko-rashladnoj stanici na krovu hotela. Za potrebe grijanja i hlađenja koristi se dizalica topline „Aquaciat 2“, čiji toplinski učin iznosi 44,2 kW, a rashladni učin iznosi 59,9 kW. Toplinski učin dizalice topline odabran je za vanjsku projektNU temperaturu $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ te temperaturu vode na izlazu iz kondenzatora u iznosu od $45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rashladni učin dizalice topline odabran je za temperaturu vode na izlazu iz isparivača u iznosu od $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ te temperaturu zraka na ulazu u kondenzator u iznosu od $34\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dizalica topline „Aquaciat Caleo“ koristi se za pripremu potrošne tople vode te njen toplinski učin iznosi 51,5 kW. Toplinski učin dizalice topline za pripremu potrošne tople vode odabran je za vanjsku projektNU temperaturu $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ te temperaturu vode na izlazu iz kondenzatora u iznosu od $45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Proračun toplinskih gubitaka hotela izvršen je prema normi HRN EN 12831, za vanjsku projektNU temperaturu $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sustav grijanja pri vanjskoj projektnoj temperaturi od $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ radi s temperaturom vode $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ u polazu, odnosno $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ u povratu.

Proračun toplinskog opterećenja hotela izvršen je prema normi VDI 2078, za vanjsku projektNU temperaturu $34\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sustav hlađenja pri vanjskoj projektnoj temperaturi od $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ radi s temperaturom vode $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ u polazu, odnosno $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ u povratu.

Za sanitarije i garderobe predviđeno je grijanje radijatorima, a prostorije poput spavaćih soba, restorana i fitnessa griju se i hlade pomoću ventilokonvektora. Voda se za oba sustava priprema u dizalici topline, te se cjevovodom primarnog cirkulacijskog kruga razvodi do razdjelnika/sabirnika u kojem se protok vode dijeli u dva sekundarna cirkulacijska kruga. Cirkulaciju vode u primarnom i sekundarnom cirkulacijskom krugu osiguravaju pumpe koje su odabrane obzirom na protok vode te proračunati pad tlaka.

Za prostorije u kojima je predviđena tlačno – odsisna ventilacija, zračni kanali pravokutnog poprečnog presjeka dovode, odnosno odvođe zrak koji je prethodno obrađen u ventilacijskoj jedinici s rekuperacijom topline. Za obradu zraka koriste se tri jedinice, od čega je jedna namijenjena za fitness, garderobu, sanitarije i hodnik, druga za restoran, a treća za kuhinju. Za prostorije WC – a i garderoba predviđena je odsisna ventilacija pomoću zračnih ventila. Zrak se odvođi pomoću kanala kružnog poprečnog presjeka i ugrađenog ventilatora.

Kako bi se omogućio pristup za rukovanje, kontrolu i održavanje, armatura, sigurnosni i kontrolni elementi moraju biti postavljeni u skladu s tim zahtjevom te mora biti osiguran prostor za pristup i servisiranje. Hladna tlačna i topla proba instalacije vrše se nakon završetka montaže, a prije izoliranja.

U prostoru toplinsko-rashladne stanice koristi se umjetna rasvjeta, pomoću rasvjetnih tijela koja su smještena na stropu. Provjetravanje toplinsko-rashladne stanice je prirodno, te se vrši kroz prozore na južnom vanjskom zidu. Za ovu vrstu instalacija, buka je unutar dozvoljenih granica.

4.2. Sustav grijanja i hlađenja

4.2.1. Dizalica topline za grijanje i hlađenje zgrade

Dizalica topline je uređaj koji omogućava prijenos energije iz toplinskog spremnika niže temperaturne razine u toplinski spremnik više temperaturne razine uporabom dodatne energije pomoću lijevokretna kružna procesa posredstvom radne tvari. Prema izvedbi dizalice topline mogu biti kompresijske, sorpcijske i Vuilleumierove, a razlikuju se prema izvoru dodatne energije za ostvarivanje kružnog procesa. Za pogon dizalice topline koriste se toplinski izvori poput zraka, vode, tla, sunčeve energije i otpadne topline. Upravo su svojstva toplinskog izvora od najvećeg značaja za dizalice topline. Toplinski izvor mora osigurati potrebnu toplinu u svakom trenutku i na što višoj temperaturnoj razini, troškovi priključenja toplinskog izvora na dizalicu topline moraju biti što manji te potrošnja energije za prijenos topline od izvora do isparivača dizalice topline treba biti što manja. Obzirom na toplinski izvor, dizalice topline se dijele u tri osnovne skupine, a to su dizalice topline tlo-voda, dizalice topline voda-voda i dizalice topline zrak-voda. Učinkovitost

dizalice topline u režimu hlađenja vrednuje se faktorom hlađenja, a u režimu grijanja ocjenjuje se faktorom grijanja.

Dizalica topline u režimu grijanja oduzima toplinu okolnom zraku i hladi ga, a toplina koja se oduzima zraku predaje se radnoj tvari, pri čemu radna isparuje te se pregrijava. Radnu tvar u parnom agregatnom stanju usisava kompresor i tlači ju na viši tlak. Na temperaturi zasićenja radne tvari, radna tvar kondenzira i prelazi u kapljevito agregatno stanje te se na izlazu iz kondenzatora pothlađuje. Toplina kondenzacije koja se oduzima radnoj tvari predaje se vodi, koja se prolaskom kroz kondenzator zagrijava. Kapljevita radna tvar se nakon kondenzatora prigušuje u prigušnom elementu pri čemu se snižava tlak radne tvari na tlak isparivanja, a prigušni element propušta onoliko radne tvari koja će se u zadanim radnim uvjetima moći pregrijati na određenu temperaturu. Proces dizalice topline u režimu hlađenja je suprotan opisanom procesu, te se u režimu hlađenja toplina oduzima zraku u prostoriji.

Za grijanje i hlađenje zgrade hotela koristi se kompresijska dizalica topline zrak-voda, čiji su osnovni dijelovi isparivač, kompresor, kondenzator, prigušni element i radna tvar. Sustav grijanja i hlađenja je centralni jer je izvor energije smješten na jednom mjestu u zgradi, odnosno u toplinsko-rashladnoj stanici, a proizvedena energija se prenosi grijanim odnosno hlađenim prostorijama putem ogrjevnog ili rashladnog medija. Cilj sustava grijanja i hlađenja je održavati željenu temperaturu prostorije i osigurati ugodnost korisnika. Centralni sustav sastoji se od izvora energije, cijevnog razvoda, ogrjevnog i rashladnog medija, ogrjevnih i rashladnih tijela, cirkulacijskih pumpi, zaporne i regulacijske armature, uređaja za kompenzaciju toplinskih dilatacija vode i sustava nadzora i upravljanja, a izvedba cijevnog razvoda je dvocijevna. Dvocijevni razvod sastoji se od polaznog i povratnog cjevovoda, a temperatura medija na ulazu u svako ogrjevno ili rashladno tijelo je jednaka.

Za potrebe grijanja i hlađenja zgrade hotela odabrana je dizalica topline „Aquaciat 2“ čiji toplinski učin iznosi 44,2 kW, a rashladni učin 59,9 kW. Toplinski učin dizalice topline odabran je za vanjsku projektnu temperaturu – 8 °C te temperaturu vode na izlazu iz kondenzatora u iznosu od 45 °C. Rashladni učin dizalice topline odabran je za temperaturu vode na izlazu iz isparivača u iznosu od 7 °C te temperaturu zraka na ulazu u kondenzator u iznosu od 34 °C. Ova dizalica topline sadrži zrakom hlađeni kondenzator te je pogodna za grijanje i hlađenje ureda, zdravstvenih ustanova, hotela i stambenih objekata. Za rad u režimu grijanja ili hlađenja koristi vanjski zrak kao vanjski

izvor energije te je na taj način omogućeno odbacivanje topline tijekom ljeta, odnosno dobava toplinske energije za grijanje tijekom zime. Na slici 4.1. prikazana je slika odabrane dizalice topline, a u tablici 4.1. prikazane su njene tehničke karakteristike.



Slika 4.1. Dizalica topline "Aquaciat 2" [17]

Tablica 4.1. Tehničke karakteristike dizalice topline [17]

Dizalica topline "Aquaciat 2"	
Toplinski učin	44,2 kW
Temperatura vanjskog zraka	- 8 °C
Temperatura vode na izlazu iz kondenzatora	45 °C
COP	2,19
Temperatura zraka na ulazu u kondenzator	34 °C
Temperatura vode na izlazu iz isparivača	7 °C
EER	2,96
Radna tvar	R410A
Tip kompresora	Scroll
Masa	620 kg
Dimenzija	1743 x 1995 x 1055 mm

4.2.2. Radijatori

Radijatori su ogrjevna tijela koja čine sustav grijanja, a namjena im je ostvariti izmjenu topline sa zrakom, osobama i objektima u prostoriji s ciljem postizanja toplinske ugodnosti. Ogrjevni medij koji je prethodno zagrijan pomoću generatora topline, odnosno dizalice topline, razvodi se putem sustava cjevovoda do radijatora. Na temelju proračuna toplinskih gubitaka određuje se potreban toplinski učin ogrjevnih tijela u odnosu na normirane radne uvjete.

U zgradi hotela radijatori su postavljeni u prostorije za koje je predviđeno isključivo grijanje poput garderoba i WC - a. Odabrani temperaturni režim vode je 45 °C u polazu, odnosno 40 °C u povratu. Zbog predviđenog temperaturnog režima potrebno je napraviti korekciju toplinskog učina za ogrjevna tijela.

Za ogrjevna tijela odabrani su člankasti radijatori SOLAR 500/80. Proizvedeni su od aluminijske legure te imaju visoku toplinsku vodljivost, brzu mogućnost zagrijavanja prostora te osiguravaju trajnost i sigurnost. EkspONENT toplinskog učinka očitao je iz kataloga proizvođača prema tehničkim karakteristikama prikazanim u tablici 4.2.

Tablica 4.2. Tehničke karakteristike odabranih radijatora [18]

SOLAR 500/80	
Visina članka	576 mm
Priključna mjera	500 mm
Širina članka	80 mm
Ugradbena dubina	80 mm
Masa članka	1,25 kg
Sadržaj vode u članku	0,34 l
Ogrjevna površina	0,41 m ² /čl.
Toplinski učinak 55/45/20 °C	60 W/čl.
EkspONENT toplinskog učinka	1,3

Srednju temperaturnu razliku između ogrjevnog tijela i zraka u prostoriji za temperaturni režim prema EN 442 može se izračunati prema izrazu:

$$\Delta\vartheta_{m,N} = \frac{\vartheta_V - \vartheta_R}{\ln\left(\frac{\vartheta_V - \vartheta_i}{\vartheta_R - \vartheta_i}\right)} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4.1.)$$

gdje je:

$\Delta\vartheta_{m,N}$ – srednja temperaturna razlika između ogrjevnog tijela i zraka u prostoriji [$^{\circ}\text{C}$],

ϑ_V – temperatura vode u polazu [$^{\circ}\text{C}$],

ϑ_R – temperatura vode u povratu [$^{\circ}\text{C}$],

ϑ_i – temperatura zraka u prostoriji [$^{\circ}\text{C}$].

Srednja temperaturna razlika između ogrjevnog tijela i zraka u prostoriji za zadani temperaturni režim iznositi će:

$$\Delta\vartheta_m = \frac{\vartheta_V - \vartheta_R}{\ln\left(\frac{\vartheta_V - \vartheta_i}{\vartheta_R - \vartheta_i}\right)} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4.2.)$$

Učinak članka u promjenjivim uvjetima računa se prema izrazu:

$$\Phi_H = \Phi_{H,N} \cdot \left(\frac{\Delta\vartheta_m}{\Delta\vartheta_{m,N}}\right)^n \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{čl.}}\right] \quad (4.3.)$$

gdje je:

Φ_H – učinak članka u promjenjivim uvjetima $\left[\frac{\text{W}}{\text{čl.}}\right]$,

$\Phi_{H,N}$ – učinak članka $\left[\frac{\text{W}}{\text{čl.}}\right]$,

$\Delta\vartheta_m$ – srednja temperaturna razlika između ogrjevnog tijela i zraka u prostoriji za zadani temperaturni režim [$^{\circ}\text{C}$],

$\Delta\vartheta_{m,N}$ – srednja temperaturna razlika između ogrjevnog tijela i zraka u prostoriji [$^{\circ}\text{C}$],

n – eksponent toplinskog učinka.

U tablici 4.3. prikazan je usvojen broj članaka i ogrjevnih tijela po zonama.

Tablica 4.3. Broj usvojenih članaka i ogrjevnih tijela po zonama

Zona	WC	Garderoba	WC - krov
Površina	35 m ²	20,4 m ²	7,11 m ²
Temperatura prostorije	18 °C	20 °C	18 °C
Toplinski gubici	82 W	419 W	415 W
Učin članka	46,47 W	41,56 W	46,47 W
Usvojeni broj članaka	4	10	9
Usvojeni broj radijatora	2	2	1

4.2.3. Ventilokonvektori

Ventilokonvektor je ogrjevno, odnosno rashladno tijelo koje se sastoji od izmjenjivača topline, ventilatora i filtra. Ventilatorom se ostvaruje prisilno strujanje zraka iz prostorije preko ploha izmjenjivača te se na taj način zrak grije ili hladi, ovisno da li kroz izmjenjivač struji hladna ili topla voda. Sustav je dvocijevni, a ventilokonvektori imaju samo jedan izmjenjivač topline. Dvocijevnim sustavom se ostvaruje cirkulacija tople ili hladne vode u zatvorenom krugu, ovisno o režimu rada.

Za prostorije poput spavaćih soba, restorana i fitnessa predviđeno je grijanje i hlađenje pomoću ventilokonvektora. Prilikom dimenzioniranja sustava ventilokonvektora potrebno je zadovoljiti toplinski učin u zimskom režimu rada i rashladni učin u ljetnom režimu rada. Ventilokonvektori su birani prema potrebnom učinku grijanja, odnosno hlađenja za srednju brzinu vrtnje ventilatora. Odabrani su „Panasonic“ pametni ventilokonvektori pomoću online alata za dimenzioniranje sustava. Ventilokonvektori su birani prema toplinskom i rashladnom učinku, temperaturi prostorije te temperaturi polaznog i povratnog voda u režimu grijanja i hlađenja. U režimu grijanja temperatura polaznog voda iznosi 45 °C, a povratnog 40 °C, dok u režimu hlađenja temperatura polaznog voda iznosi 7 °C, a povratnog voda 12 °C. Odabrani ventilokonvektori pružaju visoku učinkovitost upravljanja, čime se troši znatno manje energije, a brzinu ventilatora modulira upravljač temperature. Ventilokonvektori imaju četiri načina rada, a to su automatski, tihi, noćni i maksimalna brzina ventilacije. Na slici 4.2. prikazan je odabrani ventilokonvektor, a u tablici 4.4. prikazane su tehničke karakteristike ventilokonvektora.



Slika 4.2. Prikaz odabranog ventilokonvektora [19]

Tablica 4.4. Tehničke karakteristike ventilokonvektora [19]

Tip ventilokonvektora	Učin grijanja	Učin hlađenja	Dimenzije	Broj komada
PW-AAIR-200-2	0,3 kW	0,5 kW	735 x 579 x 129 mm	11
PW-AAIR-700-2	1 kW	1 kW	935 x 579 x 129 mm	12
PW-AAIR-900-2	1,4 kW	1,5 kW	1335 x 579 x 129 mm	8
PW-AAIR-1100-2	1,8 kW	2 kW	1335 x 579 x 129 mm	17

4.3. Sustav pripreme potrošne tople vode

4.3.1. Spremnik PTV-a

Sustavi za pripremu potrošne tople vode služe za grijanje pitke vode, a dijele se prema smještaju u odnosu na trošila, te mogu biti lokalni i centralni. Lokalni sustavi su smješteni u neposrednoj blizini trošila, a centralni su smješteni na jednom mjestu za cijeli objekt.

Sustav pripreme potrošne tople vode za zgradu hotela je centralni. Koriste se dva spremnika PTV – a, smještena u toplinsko-rashladnoj stanici hotela. Potrošna topla voda zagrijava se prije same potrošnje, a zagrijana voda pohranjuje se u odgovarajućem spremniku sve do trenutka potrošnje te je na taj način moguće isporučiti velike količine tople vode u kratko vrijeme i omogućena je

precizna regulacija temperature. Unutrašnjost spremnika odvojena je od okoliša i pod tlakom je koji je viši od atmosferskog. Toplina se posredno predaje preko izmjenjivača topline kroz čiju primarnu stranu struji ogrjevni medij. U sustav PTV – a ugrađena je i recirkulacijska pumpa kako bi svi potrošači u hotelu imali toplu vodu odmah po otvaranju slavine. Recirkulacijska pumpa se uključuje u ovisnosti o temperaturi vode u recirkulacijskom cjevovodu. U sustavu pripreme potrošne tople vode, voda u spremniku se zagrijava na temperaturu od 60 °C kako bi se onemogućio razvoj bakterije Legionelle, ali temperatura potrošne tople vode na mjestu potrošnje iznosi 45 °C.

Potreban volumen spremnika iznosi:

$$V = \frac{860 \cdot \sum(n \cdot \phi_{h,max}) \cdot \phi_n \cdot \phi_2 \cdot Z_A}{(Z_A + Z_B) \cdot (\vartheta_a - \vartheta_e) \cdot a} \quad [l] \quad (4.4.)$$

gdje je:

$\sum(n \cdot \phi_{h,max})$ – umnožak broja potrošnih mjesta i zahtjeva potrošnje na potrošnim mjestima po potrošnom mjestu [kWh],

ϕ_n – faktor korištenja,

ϕ_2 – faktor načina života,

Z_A – vrijeme zagrijavanja [h],

Z_B – trajanje najveće potrebe tople vode [h],

ϑ_a – akumulacijska temperatura spremnika [°C],

ϑ_e – temperatura dotoka hladne vode [°C],

a – faktor koji uzima u obzir napunjenost spremnika.

Potreban učin zagrijavanja:

$$\dot{Q} = \frac{V \cdot c \cdot (\vartheta_a - \vartheta_e)}{Z_A} \quad [W] \quad (4.5.)$$

gdje je:

V – volumen spremnika [l],

c – specifični toplinski kapacitet $\left[\frac{\text{J}}{\text{kgK}}\right]$,

ϑ_a – akumulacijska temperatura spremnika [$^{\circ}\text{C}$],

ϑ_e – temperatura dotoka hladne vode [$^{\circ}\text{C}$],

Z_A – vrijeme zagrijavanja [h].

Prema proračunatom volumenu spremnika PTV – a usvojena je vrijednost volumena u iznosu od 2000 l, te su odabrana dva spremnika Vitocell 100-L, čiji volumen iznosi 1000 l. Vitocell 100-L je stojeći spremnik izrađen od čelika i zaštićen od korozije te je toplinski izoliran. U tablici 4.5. prikazane su tehničke karakteristike odabranog spremnika. Potreban učin zagrijavanja iznosi 50,23 kW.

Tablica 4.5. Tehničke karakteristike spremnika PTV-a [21]

Karakteristike Vitocell 100-L	
Tip spremnika	CVL
Volumen	1000 l
Duljina	1060 mm
Širina	1155 mm
Visina	2130 mm
Težina	312 kg
Priključci	
Ulaz tople vode iz izmjenjivača	R2
Hladna voda, topla voda	R2
Cirkulacija, pražnjenje	R1 ¼

4.3.2. Dizalica topline za pripremu PTV – a

Za zagrijavanje potrošne tople vode koristi se dizalica topline „Aquaciat Caleo“, čiji toplinski učin iznosi 51,5 kW. Toplinski učin dizalice topline za pripremu potrošne tople vode odabran je za vanjsku projektnu temperaturu – 8 $^{\circ}\text{C}$ te temperaturu vode na izlazu iz kondenzatora u iznosu od

45 °C. Ova dizalica topline koristi vanjski zrak kao jedini izvor toplinske energije za grijanje te omogućava proizvodnju tople vode temperature 65 °C pri vanjskoj temperaturi od – 12 °C. Dizalica topline spojena na sustav proizvodnje potrošne tople vode omogućava potpunu autonomiju te osigurava komfor i uštedu energije. Na slici 4.3. prikazana je odabrana dizalica topline, a u tablici 4.6. prikazane su tehničke karakteristike dizalice topline.



Slika 4.3. Dizalica topline "Aquaciat Caleo" [22]

Tablica 4.6. Tehničke karakteristike dizalice topline [22]

Dizalica topline "Aquaciat Caleo"	
Toplinski učin	51,5 kW
Temperatura vanjskog zraka	– 8 °C
Temperatura vode na izlazu iz kondenzatora	45 °C
COP	4,32
Radna tvar	R407C
Tip kompresora	Scroll
Masa	579 kg
Dimenzija	1114 x 2100 x 1440 mm

4.4. Sustav ventilacije

Sustav ventilacije služi za dovođenje vanjskog i odvođenje onečišćenog zraka iz prostorije s ciljem zadovoljavanja ugodnosti boravka i omogućava prihvatljivu kvalitetu unutarnjeg zraka. Razlikujemo dva načina izmjene zraka, a to su sustavi s prirodnom izmjenom zraka i sustavi s prisilnom izmjenom zraka. Kod sustava s prirodnom izmjenom zraka do izmjene zraka dolazi uslijed razlike fizikalnih svojstava zraka u prostoriji i izvan nje, odnosno dolazi do razlike tlakova zraka na vanjskoj ovojnici zgrade i u njezinoj unutrašnjosti. Vanjski zrak u prostorije može ući

infiltracijom ili prozračivanjem. Infiltracija je dotok vanjskog zraka kroz zazor otvora na vanjskoj ovojnici zgrade, a javlja se uslijed nepotpunog brtvljenja. Prozračivanje je namjerno dovođenje zraka iz okoliša u prostorije kroz projektirane otvore. Sustave s prisilnom izmjenom zraka prema vrsti djelovanja možemo podijeliti na sustave s tlačnom ventilacijom, odsisnom ventilacijom i kombiniranom ventilacijom, gdje se istovremeno dovodi i odvodi zrak u prostor. Prisilna ventilacija omogućava preciznu regulaciju temperature i vlažnosti zraka, nije ovisna o vremenskim uvjetima poput prirodne ventilacije te osigurava regulaciju razdiobe zraka, ali iziskuje veće investicijske troškove i veću potrošnju energije. Ventilacijski sustav možemo podijeliti obzirom na način termodinamičke pripreme zraka te ih dijelimo na sustave bez termodinamičke pripreme zraka i sustave s termodinamičkom pripremom zraka. Kod sustava bez termodinamičke pripreme, zrak za ventilaciju se toplinski ne obrađuje te se obično radi o odsisnoj ventilaciji, a kod sustava s termodinamičkom pripremom zraka, zrak se može zagrijavati, hladiti, ovlaživati i odvlaživati. U zgradi hotela sustav ventilacije s termodinamičkom pripremom zraka projektiran je za prostorije fitnessa, restorana i kuhinje, a za prostorije poput WC – a i garderoba projektiran je sustav odsisne ventilacije. Sustav ventilacije može se prema smještaju uređaja za pripremu zraka s generatorima toplinskog i rashladnog učina podijeliti na lokalni i središnji sustav. Središnji sustav ventilacije omogućava preciznu regulaciju temperature i relativne vlažnosti zraka tijekom cijele godine, a lokalni sustavi su prilagodljiviji promjenama energetske potrebe zgrade. Ventilacijski sustav zgrade hotela je središnji.

Središnji sustav ventilacije sastoji se od klima-komore, distribucijske mreže, terminalnih uređaja i generatora topline. Klima-komora je dio sustava ventilacije gdje se vrši priprema zraka osiguravajući odgovarajuću čistoću, temperaturu i vlažnost zraka. Odgovarajuće stanje zraka postiže se filtriranjem, grijanjem ili hlađenjem i miješanjem. U klima-komoru dobavlja se svježi zrak koji se potom obrađuje, a otpadni zrak se koristi za predgrijavanje ili hlađenje, ovisno o zimskom ili ljetnom režimu rada. „*Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama*“ navodi obvezu primjene sustava povrata topline u zračnim sustavima ventilacije i klimatizacije s ukupnim protokom vanjskog zraka u zgradama većim ili jednakim $2500 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$.

4.4.1. Klima-komora

U prostorijama restorana, fitnessa i kuhinje primjenjuje se tlačno-odsisna ventilacija, a u prostorijama WC – a i garderoba primjenjuje se odsisna ventilacija. U sustavu ventilacije nalaze se tri klima-komore, od čega jedna služi za obradu zraka za prostor restorana, jedna služi za obradu zraka za prostorije fitnessa i hodnika te jedna služi za obradu zraka u kuhinji. U sve navedene jedinice integrirani su dobavni i odsisni ventilator, filtri i izmjenjivač topline uz mogućnost rekuperacije topline. U tablici 4.7. prikazane su tehničke karakteristike odabranih jedinica. Na slici 4.4. prikazana je klima-komora DUPLEX 4500 Multi Eco, a na slici 4.5. DUPLEX 3400 Basic.

Tablica 4.7. Tehničke karakteristike klima-komora [25]

Zone	Tip	Volumni protok	Dimenzije
Restoran	DUPLEX 4500 Multi Eco	3680 m ³ /h	2500 x 885 x 1600 mm
Kuhinja	DUPLEX 3400 Basic	2700 m ³ /h	2300 x 1450 x 580 mm
Fitness Hodnik	DUPLEX 2500 Multi Eco	1860 m ³ /h	2300 x 580 x 1600 mm



Slika 4.4. Klima-komora DUPLEX 4500 Multi Eco [25]



Slika 4.5. Klima-komora DUPLEX 3400 Basic [25]

4.4.2. Tlačni i odsisni distributeri zraka

Distribucijsku mrežu čine ventilacijski kanali te tlačni i odsisni distributeri zraka. Pri projektiranju sustava ventilacije korišteni su pravokutni i kružni ventilacijski kanali. Sustav zračnih kanala je niskotlačni s brzinama strujanja zraka do $6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Dionice zračnih kanala dijele se na mjestima gdje se mijenja protok zraka. Pri dimenzioniranju zračnih kanala potrebno je paziti da je pad tlaka po dionici manji od $1 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$, te da je pad tlaka u svakoj dionici približno jednak.

U prostorijama koje imaju tlačno-odsisnu ventilaciju za dovod i odvod zraka koriste se anemostati. Anemostati su birani prema potrebnom protoku zraka, temperaturi zraka, visini prostorije i udaljenosti od zidova, pri čemu je potrebno paziti da odabrane dimenzije anemostata zadovoljavaju potreban pad tlaka te da je razina buke unutar dozvoljenih granica, kako se ne bi ometala ugodnost boravka u prostoru. Odabrani anemostati su DEK-R, te je na slici 4.6. prikazan anemostat DEK-R, a u tablici 4.8. nalaze se tehničke karakteristike anemostata.



Slika 4.6. Anemostat [26]

Tablica 4.8. Tehničke karakteristike anemostata [26]

Zona	Fitness		Hodnik i spremište	Restoran	
	Tlačni	Odsisni		Tlačni	Odsisni
Vrsta anemostata	Tlačni	Odsisni	Tlačni	Tlačni	Odsisni
Dimenzija	Φ 300 mm	Φ 300 mm	Φ 300 mm	Φ 500 mm	Φ 600 mm
Volumni protok	173 m ³ /h	347 m ³ /h	170 m ³ /h	460 m ³ /h	920 m ³ /h
Pad tlaka	18 Pa	71 Pa	18 Pa	20 Pa	47 Pa
Razina zvučne snage	22 dB(A)	51 dB(A)	22 dB(A)	23 dB(A)	38 dB(A)
Broj komada	6	3	5	8	4

U kuhinji se koristi napa VARIANT za dobavu čistog i odvod onečišćenog zraka. Napa ima ugrađeni dovod svježeg zraka i odvod, a sadrži filtre za masnoću, svjetla, spremnik za kondenzat i kružne podesive izlaze za zrak. Osiguran je optimalni protok zraka i učinkovit odvod. Na slici 4.7. prikazana je odabrana kuhinjska napa, a u tablici 4.9. dane su tehničke karakteristike.



Slika 4.7. Kuhinjska napa VARIANT [27]

Tablica 4.9. Tehničke karakteristike kuhinjske nape [27]

Duljina	3200 mm
Širina	1000 mm
Visina	435 mm
Maksimalni broj filtra	7
Maksimalni broj rešetki	10
Maksimalni volumni protok	4060 m ³ /h
Pad tlaka pri dobavi	77 Pa
Pad tlaka pri odvodu	111 Pa

Za sustav odsisne ventilacije garderoba i WC – a odabrani su zračni ventili ZOV 125. Zračni ventili odabrani su prema odgovarajućem dijagramu pomoću zadanog protoka i otvorenosti zaklopke. Zračni ventili su izrađeni od čeličnog lima te imaju podesiv protok zraka. Regulacija protoka vrši se rotiranjem tanjura. Na slici 4.8. prikazan je odabrani zračni ventil, a u tablici 4.10. dane su tehničke karakteristike.



Slika 4.8. Zračni ventil ZOV 125 [28]

Tablica 4.10. Tehničke karakteristike zarčnih ventila [28]

Zona	WC		Garderoba	
Dimenzija	Φ161 mm	Φ161 mm	Φ161 mm	Φ161 mm
Volumni protok	60 m ³ /h	80 m ³ /h	70 m ³ /h	50 m ³ /h
Otvorenost zaklopke	0 mm	6 mm	6 mm	3 mm
Pad tlaka	13 Pa	15 Pa	11 Pa	14 Pa
Razina zvučne snage	4 dB(A)	6 dB(A)	3 dB(A)	4 dB(A)
Broj komada	4	3	2	4

5. TEHNIČKO-ENERGETSKA ANALIZA

5.1. Godišnja potrebna energija za grijanje i hlađenje

Potrošnja energije zgrade izražava se godišnjom potrebnom toplinskom energijom za grijanje po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade te primarnom energijom. Potrebna energija za grijanje označava se s $Q_{H,nd}$ te je izražena u $\frac{kWh}{god}$, a predstavlja količinu toplinske energije koju je potrebno osigurati prostoru kako bi se u njemu održala željena temperatura. Specifičnu potrebnu energiju za grijanje označavamo s $Q''_{H,nd}$ te je izražavamo u $\frac{kWh}{m^2a}$. Potrebnu energiju za hlađenje označavamo s $Q_{C,nd}$, a izražavamo je u $\frac{kWh}{god}$, te ona predstavlja količinu topline koju je potrebno odvesti iz prostora s ciljem održavanja željene temperature. Potrebna energija za grijanje i hlađenje ovisi o klimatskim uvjetima na lokaciji zgrade i namjeni zgrade te arhitektonsko-građevnim karakteristikama i načinu provjetravanja [29].

Pri proračunu energetskog svojstva zgrade potrebno je pripaziti na referentne i stvarne klimatske uvjete. U Hrvatskoj postoje dvije referentne klime, a to su kontinentalna i primorska klima. Referentna klima je klima meteorološke postaje, a referentna meteorološka postaja za kontinentalni dio Hrvatske je Zagreb, a za primorsku Hrvatsku je Split. Zgrada hotela se nalazi na području sjevernog Jadrana, stoga je referentna meteorološka postaja Split [29].

Osim lokacije, na potrebnu energiju za grijanje i hlađenje utječu arhitektonsko-građevinske karakteristike zgrade poput kvalitete ovojnice zgrade, oblik zgrade, orijentacija otvora prema stranama svijeta i zaštita od Sunca. Kako bi se zadovoljio uvjet godišnje potrebne toplinske energije za grijanje, u ovom je radu bilo potrebno povećati debljinu toplinske izolacije vanjske ovojnice zgrade hotela, odnosno povećati toplinsku izolaciju vanjskih zidova zgrade, zidova prema tlu i podova na tlu te ravnog krova. U tablici 5.1. prikazani su materijali građevnih dijelova, njihova debljina, toplinski otpor pojedinog sloja i koeficijenti prolaza topline građevnih dijelova.

Tablica 5.1. Karakteristike građevnih elemenata ovojnice zgrade

Građevni dio	Materijal	Debljina sloja [cm]	Toplinski otpor sloja [(m ² K)/W]	Koeficijent prolaza topline [W/(m ² K)]
Vanjski zid	Vapneno-cementna žbuka	2,00	0,02	0,18
	Šuplji blokovi od gline	29,00	0,69	
	Polimerno-cementno ljepilo	0,50	0,006	
	Knauf Insulation ploča	16,00	4,57	
	Polimerno-cementno ljepilo	0,50	0,006	
	Impregnacijski predpremaz	0,002	0,00	
	Silikatna žbuka	0,20	0,002	
Zid prema tlu	Armirani beton	25,00	0,096	0,23
	Bitumen traka	0,80	0,035	
	XPS	15,00	4,167	
	Čepičasta traka	0,20	0,00	
Pod na tlu	Drvo	2,20	0,17	0,31
	Cementni estrih	6,00	0,04	
	Parna brana	0,02	0,00	
	Knauf Insulation ploča	10,00	2,78	
	Bitumen traka	1,00	0,04	
	Beton	10,00	0,00	
	Pijesak	30,00	0,00	
Ravan krov	Nehrđajući čelik	0,80	0,00	0,08
	Parna brana	0,02	0,00	
	Knauf Insulation ploča	25,00	6,94	
	Knauf Insulation ploča	20,00	5,26	
	Geotekstil	0,02	0,001	
	Polim. hidro. traka	0,20	0,014	

Osim toplinske izolacije važan utjecaj na godišnju potrebnu toplinsku energiju za grijanje i hlađenje imaju i orijentacija otvora prema stranama svijeta i zaštita od Sunca. Otvori poput prozora i vrata na zgradi hotela izrađeni su od PVC – a, čiji je okvir debljine 10 mm te imaju trostruko izolirajuće staklo s trostrukim punjenjem, *Low E* premazom i trostrukim brtvljenjem. Stakla sa *Low E* premazom na unutrašnjoj strani stakla, odnosno strani stakla prema prostoriji propuštaju sunčevu toplinu koja doprinosi grijanju prostorije i smanjuju gubitak toplinske energije iz prostorije, a stakla s *Low E* premazom na strani stakla prema okolišu sprječavaju ulazak sunčeve

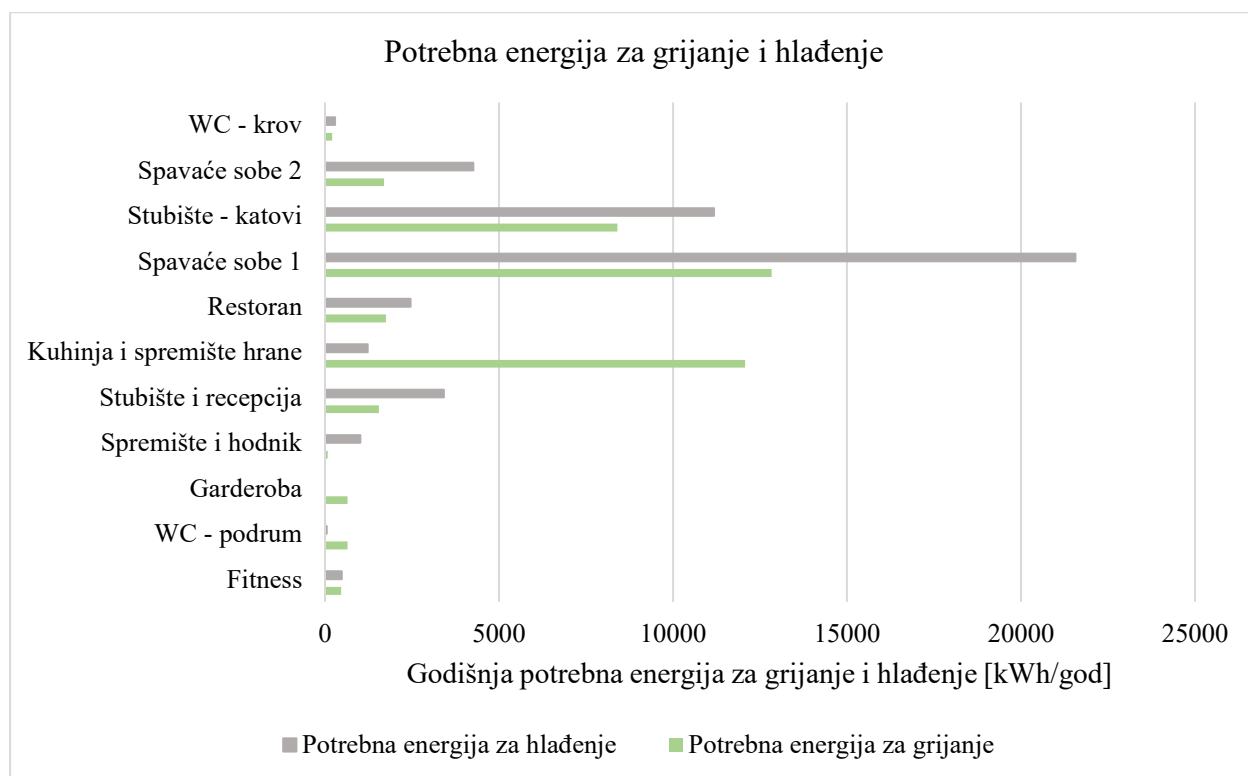
topline u prostoriju. Na zgradu hotela ugrađeni su prozori s *Low E* premazom na strani stakla prema prostoriji, kako bi se spriječio gubitak topline i smanjila potrebna toplinska energija za grijanje, a koeficijent prolaza topline otvora iznosi $0,8 \frac{W}{m^2K}$. Za otvore je predviđena zaštita od sunčeva zračenja s vanjske strane, što je posebno bitno u ljetnom periodu za otvore smještene na južnoj strani, kako bi se spriječio ulazak sučeva zračenja, a time pregrijavanje prostorija te smanjila potrebna energija za hlađenje. U tablici 5.2. prikazana je godišnja potrebna energija za grijanje i hlađenje po zonama. Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za grijanje iznosi 40 346 kWh, a ukupna godišnja potrebna energija za hlađenje iznosi 45 946 kWh. Prostorije poput fitnessa, stubišta i recepcije te restorana čine samostalne zone, dok su prostorije slične namjene ili istih unutarnjih projektnih temperatura poput spavaćih soba, stubišta, WC – a i garderoba grupirane u skupne zone.

Tablica 5.2. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje po zonama

Zona	Potrebna toplinska energija za grijanje [kWh]	Potrebna toplinska energija za hlađenje [kWh]
Fitness	462,36	485,90
WC - podrum	645,03	53,16
Garderoba	651,99	0,00
Spremište i hodnik	73,52	1012,05
Stubište i recepcija	1549,82	3412,89
Kuhinja i spremište hrane	12 069,74	1229,72
Restoran	1749,69	2459,70
Spavaće sobe 1	12 834,21	21 562,20
Stubište - katovi	8406,49	11 180,96
Spavaće sobe 2	1700,90	4259,30
WC - krov	202,46	290,50

Iz dijagrama 5.1. moguće je vidjeti da najviše potrebne energije za grijanje i hlađenje na godišnjoj razini iziskuje zona spavaćih soba, koja ujedno zauzima i najveću površinu u iznosu od 620 m². Međutim, ako promatramo dijagram, vidljivo je da zona kuhinje, čija kondicionirana površina iznosi oko 35 m², iziskuje gotovo jednaku količinu potrebne toplinske energije za grijanje kao i spavaće sobe, koje imaju puno veću kondicioniranu površinu, a zona kuhinje se pritom grije na nižu temperaturu. Za zonu kuhinje potrebna toplinska energija za grijanje po jedinici površine je velika, upravo zbog količine zraka koju je potrebno dovoditi radi mehaničke ventilacije prostorije

te visokih zahtjeva vezanih za čistoću zraka i potrebnih higijenskih uvjeta. Zona stubišta, koja se proteže na četiri kata i krovnu etažu ima kondicioniranu površinu u iznosu od 395 m² te jednim dijelom zbog velike kondicionirane površine ova zona zahtijeva veću količinu potrebne energije za grijanje i hlađenje. Također, ova zona je pretežito južno orijentirana, a unutarnja projektna temperatura zone za ljetni period iznosi 22 °C, te zato potrebna energija za hlađenje na godišnjoj razini iznosi 11 181 kWh. Prema dijagramu vidimo da je zbog lokacije zgrade i referentne klimatske postaje, potrebna energija za hlađenje veća u odnosu na potrebnu energiju za grijanje, osim za prostorije koje se nalaze u podrumu.



Dijagram 5.1. Godišnja potrebna energija za grijanje i hlađenje po zonama hotela

Kako bi se zadovoljio uvjet zgrade gotovo neto nulte energije, potrebno je zadovoljiti zahtjev da godišnja potrebna toplinska energija za grijanje po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade nije veća od dopuštenih vrijednosti utvrđenih „*Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama*“. Prema proračunu rađenom u programu „KI Expert Plus“ faktor oblika zgrade hotela iznosi $0,82 \frac{1}{m}$.

Najveća dopuštena vrijednost specifične godišnje potrebne energije za grijanje za novu zgradu iznosi:

$$Q''_{H,nd} = 6,52 + 24,89 \cdot f_0 \quad \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} \right] \quad (5.1.)$$

Najveća dopuštena vrijednost specifične godišnje potrebne energije za grijanje za novu zgradu grijanu i/ili hlađenu na temperaturu 18 °C ili više u primorju iznosi 26,93 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$, a specifična godišnja potrebna energija za grijanje zgrade hotela iznosi 16,95 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$, što znači da je uvjet specifične godišnje potrebne energije za grijanje za novu zgradu prema „*Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama*“ zadovoljen.

5.2. Primarna energija

Još jedan bitan zahtjev koji je potrebno zadovoljiti za zgradu neto nulte energije, određen je godišnjom primarnom energijom po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade, koja ovisno o namjeni uključuje energiju za grijanje, hlađenje, ventilaciju, pripremu potrošne tople vode i rasvjetu. Kako bi se zadovoljio uvjet zgrade neto nulte energije primarna energija mora biti jednaka nuli.

Primarna energija je energija sadržana u energentu, a uključuje utrošenu energiju za prikupljanje, odnosno iskapanje i transport energenta do korisnika. Primarnu energiju označavamo s E_{prim} , a računa se kao umnožak isporučene količine energenta za tehnički sustav i faktora primarne energije, a izražava se u $\frac{\text{kWh}}{\text{god}}$. Faktor primarne energije određuje svaka država članica za sebe, a on je određen u ovisnosti o svom utjecaju na okoliš ili prema energetske ciljevima države. Obnovljivi energenti imaju niske vrijednosti, a neobnovljivi energenti imaju visoke vrijednosti faktora primarne energije. Faktor primarne energije za potrebe ovog rada iznosi 1,61, što odgovara faktoru primarne energije za električnu energiju koja je preuzeta iz mreže [29].

Kao što je već ranije spomenuto, zgrade neto nulte energije karakteriziraju se kao zgrade čija je količina godišnje potrebne energije približno jednaka količini obnovljive energije koja se proizvodi na lokaciji objekta. Kako bi se zadovoljio uvjet zgrade neto nulte energije, potrebno je

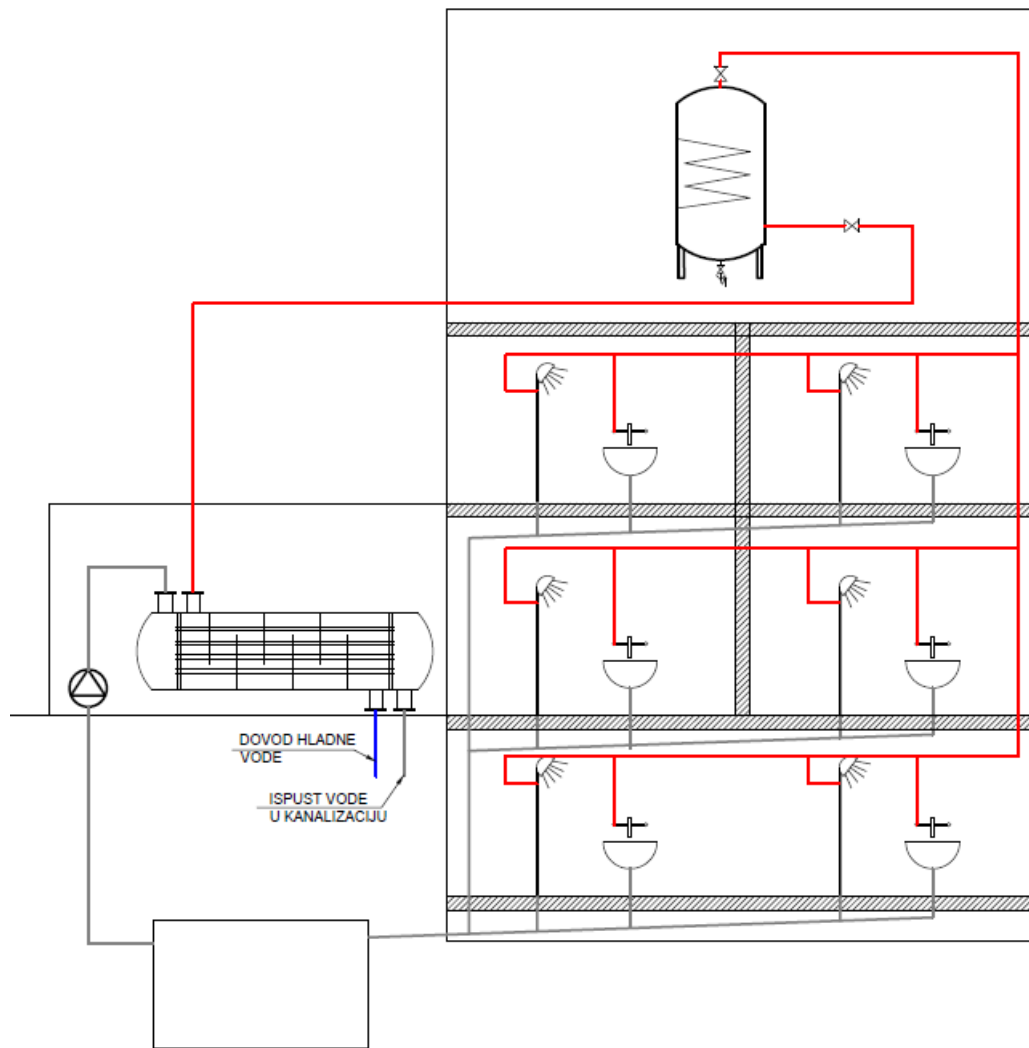
svesti specifičnu godišnju primarnu energiju na nulu, što je i postignuto predgrijavanjem potrošne tople vode, kontrolom potrošnje električne energije za rasvjetu te upotrebom fotonaponskih modula za proizvodnju električne energije.

5.2.1. Predgrijavanje potrošne tople vode

Uoči energetske krize s kojom se svijet suočava, najučinkovitiji odgovor na krizu je smanjenje potrošnje energije i racionalnije upravljanje energijom. Pozornost je usmjerena i na klimatske i ekološke promjene, a zgrade troše velike udjele energije, za grijanje i hlađenje ili za proizvodnju tople vode, koja ima velik utjecaj na efekt staklenika i emisije ugljikova dioksida. U zgradama se na grijanje vode troši najveći dio energije, a otpadna voda koja se ispušta u kanalizaciju predstavlja gubitak topline. Topla voda proizvedena u zgradama ima visok toplinski kapacitet te prosječna temperatura vode tijekom korištenja iznosi između 40 °C i 50 °C [30].

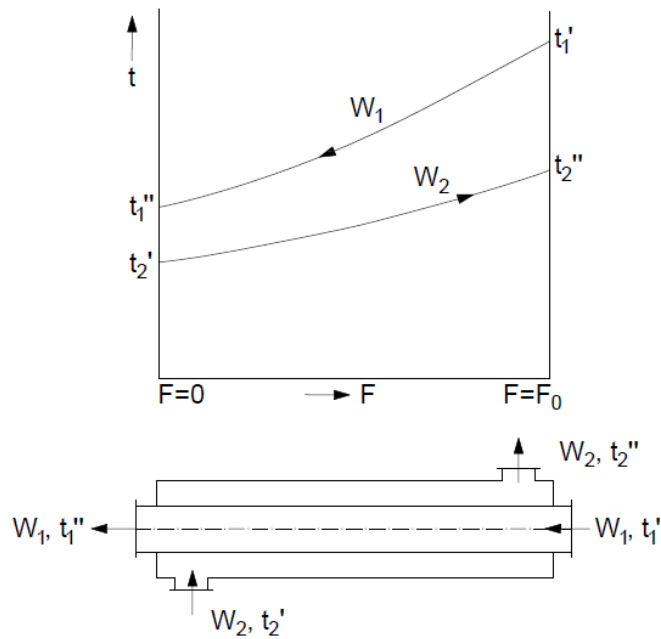
Korištenjem otpadne vode može se smanjiti potrošnja energije, ali i smanjiti negativan učinak na okoliš. Otpadna voda i kanalizacijski sustavi u stambenim i nestambenim objektima mogu biti korisni za proizvodnju energije, međutim lokacija, količina otpadne vode i godišnje doba imaju velik utjecaj na temperaturu otpadne vode. Oko 30% potrebne energije za zagrijavanje vode može se osigurati povratom topline otpadne vode. Izvori otpadne topline mogu biti umivaonici, tuševi, kade, sudoperi, perilice rublja i perilice posuđa, a ideja ovakvog sustava je korištenje otpadne vode za predgrijavanje potrošne tople vode, čime se troši manje energije za njeno zagrijavanje [31].

Sustav koji je implementiran u zgradu hotela radi na principu gravitacije, otpadna voda slijeva se u glavnu cijev koja je povezana sa spremnikom ukopanim ispod razine tla, volumena 2000 l. Otpadna voda se putem cirkulacijske pumpe dovodi do izmjenjivača topline, gdje dolazi do izmjene topline između svježe i otpadne vode. Otpadna voda se, nakon izmjene topline sa svježom vodom, odvodi u kanalizaciju. Predgrijana voda se dovodi do spremnika potrošne tople vode gdje se dogrijava na potrebnu temperaturu. Na slici 5.1. prikazan je opisani rad sustava za predgrijavanje potrošne tople vode.



Slika 5.1. Sustav za predgrijavanje potrošne tople vode

Kako bismo izračunali kolika se ušteda postiže predgrijavanjem potrošne tople vode toplinom otpadne vode, potrebno je odrediti temperaturu svježe vode nakon zagrijavanja otpadnom vodom, odnosno temperaturu vode na izlazu iz izmjenivača topline. Ako se prepostavi da je temperatura otpadne vode $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, a temperatura svježe vode $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, pomoću izraza za stupanj djelovanja protusmjernog cijevnog izmjenjivača topline može se dobiti temperatura otpadne vode na izlazu iz izmjenjivača. Pretpostavlja se da stupanj djelovanja izmjenjivača iznosi 80%. Na slici 5.2. prikazana je temperaturna raspodjela struja u ovisnosti o površini protusmjernog rekuperatora.



Slika 5.2. Temperaturna raspodjela struja u ovisnosti o površini protusmjernog rekuperatora

Temperatura vode na izlazu iz izmjenjivača topline:

$$t_1'' = t_1' - \eta \cdot (t_1' - t_2') \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (5.2.)$$

gdje je:

t_1' – temperatura slabije struje na ulazu u izmjenjivač [$^{\circ}\text{C}$],

t_1'' – temperatura slabije struje na izlazu iz izmjenjivača [$^{\circ}\text{C}$],

t_2' – temperatura jače struje na ulazu u izmjenjivač [$^{\circ}\text{C}$],

η – iskoristivost izmjenjivača topline [%].

Uvrštavanjem podataka o temperaturama slabije i jače struje na ulazu u izmjenjivač dobivena je temperatura slabije struje na izlazu iz izmjenjivača te ona iznosi $14,4^{\circ}\text{C}$. Temperaturu svježe vode koja je zagrijana toplinom otpadne vode moguće je dobiti iz toplinske bilance pod pretpostavkom da su toplinski kapaciteti svježe i otpadne vode jednaki.

Toplinska bilanca:

$$\dot{Q} = W_1 \cdot (t_1' - t_1'') = W_2 \cdot (t_2'' - t_2') \quad (5.3.)$$

gdje je:

\dot{Q} – izmjenjeni toplinski tok [W],

W_1 – toplinski kapacitet slabije struje $\left[\frac{W}{K}\right]$,

W_2 – toplinski kapacitet jače struje $\left[\frac{W}{K}\right]$,

t_1' – temperatura slabije struje na ulazu u izmjenjivač [K],

t_1'' – temperatura slabije struje na izlazu iz izmjenjivača [K],

t_2' – temperatura jače struje na ulazu u izmjenjivač [K],

t_2'' – temperatura jače struje na izlazu iz izmjenjivača [K].

Temperatura predgrijane vode, odnosno temperatura jače struje na izlazu iz izmjenjivača iznosi 27,6 °C.

Potreban učin zagrijavanja:

$$\dot{Q} = \frac{V \cdot c \cdot (\vartheta_a - \vartheta_e)}{Z_A} \quad [W] \quad (5.4.)$$

gdje je:

V – volumen spremnika [l],

c – specifični toplinski kapacitet $\left[\frac{J}{kgK}\right]$,

ϑ_a – akumulacijska temperatura spremnika [°C],

ϑ_e – temperatura dotoka hladne vode [°C],

Z_A – vrijeme zagrijavanja [h].

Prema uputama za projektiranje spremnika potrošne tople vode proizvođača „Viessmann“ [14] potreban učin za zagrijavanje vode, bez korištenja topline otpadne vode te ako temperatura vode iz vodovoda iznosi 10 °C, iznosi 77,52 kW. Ako je temperatura dotoka hladne vode jednaka temperaturi jače struje na izlazu iz izmjenjivača, tada potreban učin zagrijavanja iznosi 50,23 kW. Korištenjem otpadne vode za predgrijavanje potrošne tople vode postignuta je ušteda potrebnog učina za zagrijavanje od 35%.

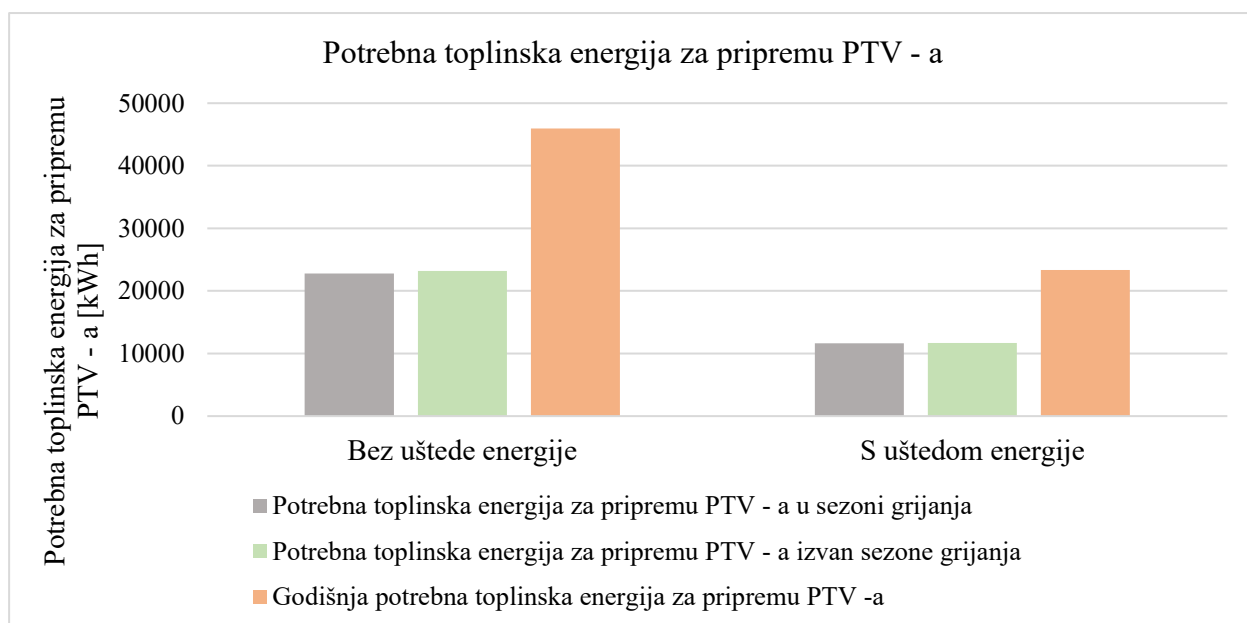
Pomoću programa „KI Expert Plus“ proveden je proračun godišnje potrebne toplinske energije za pripremu potrošne tople vode te je u tablici 5.3. prikazna potrebna toplinska energija za pripremu PTV – a bez korištenja topline otpadne vode, a u tablici 5.4. prikazna je potrebna toplinska energija za pripremu PTV – a uz korištenje topline otpadne vode. Godišnja potrebna toplinska energija za pripremu potrošne tople vode na razini hotela bez predgrijavanja iznosi 45 980 kWh, a s predgrijavanjem potrošne tople vode iznosi 23 338 kWh. U dijagramu 5.2. prikazan je odnos potrebne toplinske energije za pripremu PTV – a u sezoni i izvan sezone grijanja, te na godišnjoj razini s i bez uštede energije.

Tablica 5.3. Potrebna toplinska energija za pripremu PTV – a bez korištenja topline otpadne vode

Zona	Potrebna toplinska energija za pripremu PTV - a u sezoni grijanja [kWh]	Potrebna toplinska energija za pripremu PTV - a izvan sezone grijanja [kWh]	Godišnja potrebna toplinska energija za pripremu PTV - a [kWh]
WC	1139,08	879,20	2018,28
Spremište i hodnik	129,25	123,03	252,28
Kuhinja i spremište hrane	2117,14	1062,93	3180,07
Restoran	592,80	297,62	890,42
Spavaće sobe 1	15 385,11	17 263,53	32 648,64
Garderoba	1383,20	694,44	2077,64
Spavaće sobe 2	1730,42	2424,86	4155,28
WC - krov	300,67	456,19	756,86

Tablica 5.4. Potrebna toplinska energija za pripremu PTV - a uz korištenje topline otpadne vode

Zona	Potrebna toplinska energija za pripremu PTV - a u sezoni grijanja [kWh]	Potrebna toplinska energija za pripremu PTV - a izvan sezone grijanja [kWh]	Godišnja potrebna toplinska energija za pripremu PTV - a [kWh]
WC	566,29	437,09	1003,38
Spremište i hodnik	64,26	61,16	125,42
Kuhinja i spremište hrane	1371,91	688,78	2060,69
Restoran	294,71	147,96	442,67
Spavaće sobe 1	7648,60	8582,44	16 231,04
Garderoba	687,65	345,24	1032,89
Spavaće sobe 2	860,27	1205,50	2065,77
WC - krov	149,48	226,79	376,27



Dijagram 5.2. Usporedba potrebne toplinske energije za pripremu PTV - a

Iz dijagrama 5.2. vidljivo je da se predgrijavanjem potrošne tople vode postiže ušteda potrebne toplinske energije za pripremu PTV - a od 49,2% na godišnjoj razini.

5.2.2. Rasvjeta

Rasvjeta predstavlja oko 20% globalne potrošnje električne energije. Smanjenje potrošnje električne energije za rasvjetu rezultiralo bi nizom pozitivnih učinaka poput nižih troškova

električne energije i goriva, smanjenje emisija stakleničkih plinova i drugih onečišćujućih tvari koje mogu imati negativan utjecaj na ljudsko zdravlje. Tradicionalne žarulje sa žarnom niti troše puno energije za proizvodnju svjetlosti te se oko 90% energije predaje kao toplina. Zamjenom tradicionalnih žarulja s halogenim žaruljama sa žarnom niti, CFL (eng. *Compact Fluorescent Lamp*) i LED (eng. *Light-Emitting Diode*) žaruljama može se postići energetska učinkovita rasvjeta. LED žaruljama moguće je uštediti i do 80% energije te traju puno dulje od tradicionalnih žarulja [32].

Osim što se ušteda električne energije može postići upotrebom LED rasvjete, ušteda se može postići implementacijom sustava s detekcijom prisutnosti, automatskom kontrolom rada rasvjete i sustavom kontrole konstantne osvijetljenosti. Za regulaciju svjetlosti potrebni su senzori za prisutnost i senzori rasvjete, koji daju impulse elementima regulacije koji upravljaju rasvjetom te omogućavaju promjenu intenziteta rasvjete i automatski uključuju i isključuju rasvjetu.

U tablici 5.5. prikazani su podaci o električnoj energiji i primarnoj energiji potrebnoj za rasvjetu po zonama u sustavu rasvjete gdje se ne koristi detekcija prisutnosti i sustav kontrole konstantne osvijetljenosti te se koristi manualna kontrola rada rasvjete. U tablici 5.6. prikazani su podaci o električnoj energiji i primarnoj energiji potrebnoj za rasvjetu po zonama, ali se u sustavu rasvjete koristi detekcija prisutnosti i sustav kontrole konstantne osvijetljenosti, a kontrola rada rasvjete je automatska. Potrebna godišnja električna energija za rasvjetu bez sustava koji omogućavaju uštedu iznosi 31 635 kWh, a potrebna godišnja električna energija za rasvjetu sa detekcijom prisutnosti, sustavom kontrole konstantne osvijetljenosti i automatskom kontrolom rada rasvjete iznosi 25 787 kWh.

Tablica 5.5. Podaci o potrebnoj električnoj i primarnoj energiji za rasvjetu bez uštede energije

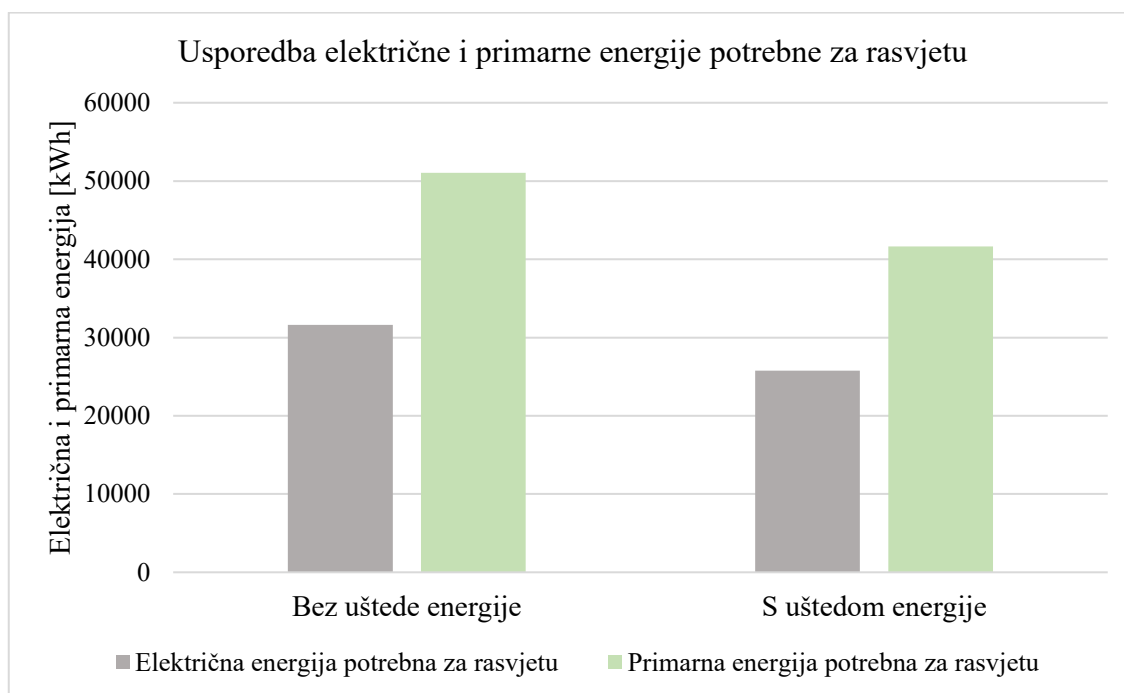
Zona	Električna energija potrebna za rasvjetu [kWh]	Primarna energija potrebna za rasvjetu [kWh]
Fitness	1833,82	2959,78
WC	816,05	1317,11
Spremište i hodnik	1154,02	1862,58
Stubište - podrum	1018,13	1643,26
Stubište za osoblje	1887,76	3046,84
Stubište i recepcija	1456,40	2350,64
Kuhinja i spremište hrane	1025,50	1655,16
Restoran	2909,10	4695,29
Spavaće sobe 1	8426,23	13 600,58
Garderoba	488,47	788,38
Stubište - katovi	7676,18	12 389,36
Spavaće sobe 2	2142,33	3457,73
Vjetrobran	213,77	345,02
WC - krov	213,77	345,02
Toplinsko-rashladna stanica	372,99	602,01

Tablica 5.6. Podaci o potrebnoj električnoj i primarnoj energiji za rasvjetu s uštedom energije

Zona	Električna energija potrebna za rasvjetu [kWh]	Primarna energija potrebna za rasvjetu [kWh]
Fitness	1581,26	2552,15
WC	641,17	1034,84
Spremište i hodnik	901,71	1455,36
Stubište - podrum	800,47	1291,95
Stubište za osoblje	1563,44	2523,39
Stubište i recepcija	1167,03	1883,59
Kuhinja i spremište hrane	849,32	1370,80
Restoran	2331,09	3762,39
Spavaće sobe 1	6790,15	10 959,30
Garderoba	384,04	619,84
Stubište - katovi	6357,39	10 260,83
Spavaće sobe 2	1774,28	2863,68
Vjetrobran	177,04	285,74
WC - krov	177,04	285,74
Toplinsko-rashladna stanica	291,44	470,39

Prema analizi sustava rasvjete u programu „KI Expert Plus“ na električnu energiju i primarnu energiju potrebnu za rasvjetu, sustav detekcije prisutnosti nema utjecaj, dok se s druge strane

najveća ušteda postiže automatskom kontrolom rada rasvjete. U dijagramu 5.3. prikazana je usporedba dobivenih rezultata električne energije i primarne energije potrebne za rasvjetu sa i bez implementacije sustava automatske kontrole rada rasvjete i sustava kontrole konstantne osvijetljenosti. Korištenjem ovih sustava moguće je postići uštedu električne i primarne energije u iznosu od 18,5%.



Dijagram 5.3. Usporedba potrebne električne i primarne energije za rasvjetu

5.2.3. Fotonaponski sustav

Fotonaponska elektrana je fotonaponski sustav koji proizvedenu električnu energiju predaje u javnu elektrodistribucijsku mrežu ili se proizvedena energija može koristiti unutar objekta uz primjenu uređaja za pohranu trenutnih viškova električne energije. Fotonaponske elektrane omogućavaju izravnu pretvorbu sunčeve energije u električnu energiju. Fotonaponski sustav radi na principu fotonaponskog efekta, a sastoji se od fotonaponskih modula, invertera, baterija za pohranu električne energije, regulatora punjenja, dovoda potrošačima, zaštitnih uređaja, nosača modula i potrebnih električnih instalacija.

Fotonaponska ćelija osnovni je element fotonaponskog sustava. Fotonaponska ćelija je poluvodički element koji izravno pretvara sunčevu energiju u električnu, a kada se ćelija izloži sunčevu zračenju na njezinim se krajevima inducira elektromotorna sila. Fotonaponska ćelija sastoji se od dva poluvodička sloja, najčešće kristala silicija, no silicij kao kemijski element nije dobar vodič te se dodaju nečistoće kako bi se povećala njegova vodljivost. Poluvodiči se dijele na n-tip s elektronima i p-tip sa šupljinama, a oba tipa poluvodiča električki su neutralna. n-tip poluvodiča nastaje zamjenom određenog broja atoma četverovalentnog elementa u monokristalnoj rešetki s atomima nekog od peterovalentnih elemenata poput fosfora, a p-tip poluvodiča nastaje ugradnjom male količine trovalentnog elementa poput bora. Povezivanjem n-tipa i p-tipa poluvodiča nastaje pn-spoj koji je osnovni element fotonaponske ćelije te u blizini pn-spoja elektroni i šupljine prelaze iz područja više u područje niže koncentracije. Kada se elektron i šupljina susretnu dolazi do rekombinacije, odnosno popunjavanja šupljine elektronom, a područje između p- tipa i n-tipa nema nositelja naboja, ostaju samo ioni. Elektroni prelaskom ostavljaju pozitivno nabijene ione fosfora u n-području, a šupljine negativno nabijene ione bora u p-području te područje u blizini spoja gubi neutralnost i postaje električki nabijeno i dolazi do razvoja električnog polja. Širina ove zone ograničena je električnim poljem koje se stvara i jača s porastom pozitivno nabijenih iona u n-području i negativno nabijenih iona u p-području, električno polje usporava i naposljetku prekida proces rekombinacije. Kada svjetlost padne na ćeliju, oslobađaju se elektroni, koji se nastoje gibati iz n-područja u p-područje, ali postojeće električno polje to onemogućava, a spajanjem na vanjski izvor omogućava se prolaz elektronima prema p-području i dolazi do stvaranja istosmjerne struje. Većina fotonaponskih ćelija izrađena je od silicija. Zasebne ćelije malih su dimenzija te u prosjeku proizvode od 1 W do 2 W. Izlazna snaga ćelije je mala, stoga se fotonaponske ćelije povezuju u module kako bi se ostvarila odgovarajuća izlazna snaga.

Fotonaponski moduli mogu se povezivati kako bi se oblikovao niz ili mreža ovisno o željenoj izlaznoj snazi. Gornji sloj fotonaponskog modula mora imati visok stupanj transparentnosti, mora biti otporan na vodu i tuču te biti stabilan uslijed izloženosti ultraljubičastom zračenju kroz dulji vremenski period. Gornji sloj fotonaponskog modula najčešće se izrađuje iz kaljenog stakla, a donji sloj modula je tanki polimerni film, koji ima visoku otpornost na vodu i koroziju. Fotonaponski modul postavlja se unutar aluminijskog okvira, čime se postiže robusnost i omogućava se jednostavno postavljanje. Fotonaponski moduli mogu biti postavljeni pod fiksnim kutem ili mogu pratiti kretanje Sunca. Najčešće se fotonaponski moduli postavljaju fiksno jer je investicija sustava za praćenje kretanja Sunca isplativa ako se koristi veći fotonaponski sustav.

Fotonaponski moduli pod fiksnim kutem apsorbirat će manje sunčeva zračenja u odnosu na module sa sustavom za praćenje kretanja Sunca.

Ovisno o načinu rada, fotonaponski sustavi mogu biti samostalni, mrežni ili hibridni. Samostalni fotonaponski sustavi potrošače opskrbljuju električnom energijom neovisno o mreži, stoga takvi sustavi zahtijevaju uređaje za pohranu energije. Kod samostalnih sustava pretvorba sunčeve energije prilagođena je energetske potrebama objekta, a kako dobiti sunčeve energije nisu usklađeni s potražnjom energije priključenih trošila koristi se sustav za pohranu energije. Ako ovakvom sustavu podršku u proizvodnji električne energije daje neki dodatni izvor energije, tada se radi o hibridnom sustavu. Kod mrežnih sustava, elektrodistribucijska mreža služi za pohranu energije. Fotonaponski sustav na elektrodistribucijsku mrežu može biti priključen preko kućne instalacije ili izravno. Osnovni dijelovi fotonaponskog sustava priključenog na mrežu su fotonaponski moduli, razvodna kutija sa zaštitnom opremom, kabeli istosmjerne struje, glavna sklopka istosmjerne struje, inverter, kabeli izmjenične struje i mjerni ormarić sa sustavom razvoda energije, priključkom na mrežu te mjerilom isporučene i preuzete energije. Kada je fotonaponski sustav priključen na javnu elektrodistribucijsku mrežu preko kućne instalacije, tada sustav radi paralelno s mrežom. Trošila u objektu koriste proizvedenu električnu energiju iz fotonaponskog sustava, a kada je trenutna proizvodnja veća od potrošnje, tada se višak energije predaje u mrežu. S druge strane, ako je potrošnja električne energije veća od proizvedene energije, tada se objekt namiruje iz javne mreže. Međutim, takve sunčane elektrane zakonski su ograničene, te na razini godine ne isporučuju više električne energije u distribucijsku mrežu u odnosu na preuzetu količinu električne energije. Fotonaponski sustav koji je priključen izravno na javnu distribucijsku mrežu predaje svu generiranu energiju, a potrebna električna energija za objekt preuzima se iz mreže.

Fotonaponski sustav koji se primjenjuje za proizvodnju električne energije za potrebe hotela zamišljen je kao sustav koji koristi generiranu električnu energiju, a viškove električne energije predaje u javnu elektrodistribucijsku mrežu. Odabrani su fotonaponski moduli s heterospojnim ćelijama, koji kombiniraju tanku monokristalnu silicijsku pločicu s ultratankim slojevima amorfnog silicija, što omogućava veću učinkovitost modula i više prikupljene energije u usporedbi s konvencionalnim fotonaponskim modulima. Odabrani moduli mogu prikupiti i do 20% više energije u uvjetima slabijeg osvjetljenja.

Količina sunčeve energije koju je moguće pretvoriti u električnu energiju ovisi o postavljanju fotonaponskih modula obzirom na orijentaciju i nagib u odnosu na vodoravnu površinu. Južno orijentirana nagnuta površina primat će najviše sunčeva zračenja. Količina energije koja upada na neku površinu najveća je onda kada sunčevo zračenje upada okomito na vodoravnu površinu, te se promjenom nagiba površine na koju upada sunčevo zračenje, može povećati iskoristivost sunčeva zračenja. Zračenje je promjenjivo tijekom dana i godine te površina modula mora biti postavljena pod kutem koji odgovara položaju Sunca u periodu maksimalna sunčeva zračenja. Fotonaponske module potrebno je postaviti tako da se izbjegne utjecaj sjena okolnih objekata.

Na krov hotela postavljena su 63 modula pod kutem od 0° , na pomoćni objekt 2 modula i na tlo 21 modul s nagibom od 30° , a 7 modula s nagibom od 30° smješteno je po obodu krova hotela te ujedno služe kao sjenila za prozore na zadnjem katu hotela ispod krovne etaže. Za module smještene na krovu hotela, pretpostavlja se da su intenzivno ventilirani zbog većih brzina vjetera te slobodnog strujanja zraka oko modula. Ukupna površina modula iznosi 291 m^2 , a ukupna električna energija proizvedena u fotonaponskom sustavu iznosi $85\,203 \frac{\text{kWh}}{\text{god}}$. Moduli koji se nalaze na tlu nisu zasjenjeni okolnim objektima, a prema proračunu u programu „KI Expert Plus“, najpovoljniji kut za postavljanje fotonaponskih modula iznosi 30° . Na slici 5.3. prikazan je odabrani fotonaponski modul, a u tablici 5.7. dane su njegove tehničke karakteristike.



Slika 5.3. Fotonaponski modul [34]

Tablica 5.7. Tehničke karakteristike fotonaponskog modula [34]

Tip	720
Vršna snaga	720 W _p
Učinkovitost modula	23,20%
Dimenzije	2384 x 1303 x 33 mm
Dimenzije ćelije	210 x 105 mm
Masa	39 kg

Kako bi se izbjeglo zasjenjivanje fotonaponskih modula postavljenih u redove, jedan iza drugoga, mora se predvidjeti određeni razmak između njih. Razmak između fotonaponskih modula treba odabrati tako da 21. prosinca u 12 sati Sunce bez zasjenjivanja može ozračivati površinu svih modula.

Kut visine Sunca iznosi:

$$\beta = 90^\circ - \varphi + \delta \quad [^\circ] \quad (5.5)$$

gdje je:

φ – zemljopisna širina lokacije [°],

δ – deklinacija Sunca [°].

Razmak između fotonaponskih modula:

$$z = \frac{\sin(180^\circ - (\alpha + \beta))}{90^\circ - \varphi + \delta} \cdot h \quad [\text{m}] \quad (5.6.)$$

Prilikom postavljanja modula na tlo s nagibom od 30° potreban razmak između fotonaponskih modula iznosi 2,7 m ako je zemljopisna širina za područje Rijeke 45° 19' 36", a deklinacija Sunca -23,45°. Potrebno se držati preporučenih minimalnih razmaka modula od ruba krova te on mora iznositi najmanje jedan metar.

U prilogu II. nalazi se proračun fotonaponskog sustava, izrađen pomoću online alata za proračun fotonaponskih elektrana „Sunny Design“. Iz proračuna pomoću alata „Sunny Design“ vidljivo je da godišnja generirana električna energija iznosi 75 215 kWh, što je 12% manje generirane električne energije u odnosu na proračun u računalnom programu „KI Expert Plus“. Do odstupanja u količini generirane električne energije dolazi zbog gubitaka u sustavu, koje „Sunny Design“ preciznije uzima u obzir te je u realnosti potrebno nešto više fotonaponskih modula, odnosno potrebno je 106 fotonaponskih modula.

5.2.4. Usporedba fotonaponskog sustava s fotonaponsko-toplinskim sustavom

Integracijom fotonaponskog modula i solarnog kolektora dobiva se jedinica koja služi za iskorištavanje sunčeve energije. Hibridni fotonaponsko – toplinski sunčani kolektori istovremeno pretvaraju sunčevo zračenje u električnu energiju i toplinu. Za proizvodnju električne i toplinske energije koristi se jedna površina, a prednost primjene ovakvih uređaja jest visoka ukupna učinkovitost pretvorbe sunčeve energije. Fotonaponske ćelije imaju učinkovitost između 15% i 20%, a najveći dio sunčeva zračenja se pretvara u toplinu te se povećava temperatura fotonaponskog modula, što smanjuje njegovu učinkovitost. Toplinski kolektor se nalazi ispod fotonaponskog modula, te se vrši prijenos topline s fotonaponskih ćelija na tekućinu, na taj se način hlade fotonaponske ćelije, ali se i odvedena toplina može koristiti za zagrijavanje potrošne tople vode, čime se povećava učinkovitost. Povećanje temperature fotonaponske ćelije uzrokuje smanjenje učinkovitosti. Učinkovitost fotonaponske ćelije smanjuje se po Kelvinu za 0,2% do 0,5%. Zbog nižih radnih temperatura, povećava se životni vijek ovakvih modula. Na ovaj način se može povećati učinkovitost i pouzdanost cijelog sustava, ali toplinska komponenta sustava ima slabije performanse u usporedbi s klasičnim solarnim kolektorom. Temperatura ćelije je ograničena na 100 °C. PVT kolektore (eng. *Photovoltaic thermal collectors*) moguće je klasificirati prema tehnologiji izrade ćelija, vrsti medija koji se koristi za prijenos topline, materijalu i geometriji izmjenjivača topline. Proizvodnja toplinske i električne energije rezultira većom učinkovitošću te ova vrsta modula daje više energije po metru kvadratnom PVT modula [36].

Cilj ovog potpoglavlja je usporediti koji je sustav bolji za proizvodnju energije za zgradu hotela, sustav koji koristi fotonaponske module ili sustav koji koristi fotonaponsko – toplinske module za generiranje toplinske i električne energije.

Sustav koji koristi fotonaponske module sastoji se od 93 fotonaponska modula površine 291 m² te generira 85 202 kWh električne energije. Za grijanje i hlađenje se koristi dizalica topline toplinskog učina 44,2 kW te rashladnog učina 59,9 kW. Potrošna topla voda zagrijava se u spremniku zapremnine 2000 l pomoću dizalice topline toplinskog učina 51,5 kW, a potrošna topla voda predgrijava se toplinom otpadne vode na 27,6 °C.

Sustav koji koristi fotonaponsko-toplinske module sastoji se od 43 PVT modula površine 85 m², koji generiraju 25 684 kWh električne energije, a ukupno isporučena sunčeva energija u sustav iznosi 116 875 kWh. Sustav koji koristi PVT module za generiranje toplinske i električne energije ima jednak termotehnički sustav kao i sustav s fotonaponskim modulima, jedina razlika je što se za zagrijavanje potrošne tople vode koristi i toplina proizvedena PVT modulima, a temperatura predgrijane vode također iznosi 27,6 °C. Toplinski učin PVT modula iznosi 51 kW, što odgovara potrebnom učinku za zagrijavanje potrošne tople vode. Za akumulaciju toplinske energije koristi se monovalentni spremnik volumena 4250 l. Na tlo je postavljeno 35 PVT modula s nagibom od 30°, a na južno pročelje zgrade hotela postavljeno je 8 PVT modula s nagibom od 30°, koji ujedno služe kao sjenilo za zaštitu od sunčeva zračenja prostorijama koje se nalaze na 4. katu hotela. Kako ne bi došlo do međusobnog zasjenjivanja PVT modula postavljenih na tlo, potrebno je predvidjeti razmak između modula u iznosu od 2,41 m. Međutim, sustav koji koristi PVT module ne može raditi samostalno, stoga se koristi kombinacija fotonaponskih i PVT modula. Uz PVT module koristi se i 106 fotonaponskih modula površine 207,76 m², koji generiraju 54 631 kWh električne energije. Na krovu hotela postavljeno je 105 fotonaponskih modula s nagibom od 0°, a na pomoćni objekt postavljen je jedan fotonaponski modul s nagibom od 30°. Na slici 5.4. prikazan je odabrani modul, a u tablici 5.8. dane su tehničke karakteristike PVT modula.



Slika 5.4. Prikaz PVT modula [37]

Tablica 5.8. Tehničke karakteristike PVT modula [37]

Sunmaxx PX-1	
Karakteristike FN modula	
Vršna snaga	415 W
Učinkovitost	21,20%
Karakteristike solarnog kolektora	
Snaga	1200 W
Medij	Voda - glikol
Pad tlaka	29 mbar
Volumni protok	50-150 l/h
Učinkovitost	0,53
Koeficijent a_1	16,5 W/m ² K
Koeficijent a_2	0 W/m ² K

Sustav s fotonaponskim modulima ima nešto manju ukupnu površinu modula od sustava s PVT kolektorima i fotonaponskim modulima, te zahtjeva manji broj modula s nagibom od 30°, ali za sustav s PVT modulima potrebno je osigurati nešto manju površinu za smještaj 35 modula s udaljenosti između redova u iznosu od 2,41 m. Samostalni fotonaponski sustav generira oko 4900 kWh električne energije više, ali snaga fotonaponskih modula je nešto veća te iznosi $231 \frac{W}{m^2}$.

Tablica 5.9. Godišnje proizvedena toplinska energija iz obnovljivih izvora energije

Godišnje proizvedena toplinska energija iz obnovljivih izvora energije [kWh]		
Zona	FN sustav	FN i PVT sustav
WC - podrum	936,89	2388,29
Spremište i hodnik	924,11	1033,50
Garderobe	919,49	3289,86
Kuhinja i spremište hrane	2497,21	4701,66
Restoran	495,13	1071,68
Spavaće sobe 1	10020,30	31464,66
Spavaće sobe 2	1296,45	5394,37
WC - krov	213,33	1109,49

U tablici 5.9. prikazana je godišnje proizvedena toplinska energija iz obnovljivih izvora energije za zone kojima je potrebno osigurati potrošnu toplu vodu, a podaci su prikazani za slučaj kada se

ne koriste PVT kolektori i za slučaj PVT sustava. Upotrebom PVT modula na godišnjoj razini generira se oko 66% više toplinske energije u zonama koje koriste potrošnu toplu vodu. Na razini cijelog hotela, sustav koji koristi fotonaponske i PVT module godišnje generira 21% više toplinske energije, dok sustav koji koristi isključivo fotonaponske module godišnje generira 6% više električne energije u odnosu na sustav s fotonaponskim i PVT modulima. Sustav s fotonaponskim i PVT modulima generira više toplinske energije na godišnjoj razini u odnosu na sustav s fotonaponskim modulima, ali sustav s fotonaponskim modulima zahtijeva niže investicijske troškove. Međutim, najbitnija karakteristika je da sustav omogućava da je godišnje generirana količina energije jednaka godišnjoj potrebnoj količini energije za rad tehničkog sustava, što u ovom slučaju oba sustava zadovoljavaju.

5.2.5. Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji

Udio obnovljivih izvora energije određuje se prema neobnovljivoj i obnovljivoj energiji isporučenoj zgradi, energiji na lokaciji zgrade i izvezenoj energiji. Energija koja se isporučuje zgradi može biti neobnovljiva energija poput električne energije dobivene iz elektrodistribucijske mreže, energija proizvedena lokalno pomoću fosilnih goriva ili daljinsko grijanje toplinom dobivenom iz fosilnih goriva i/ili obnovljiva energija proizvedena lokalno korištenjem obnovljivih biogoriva ili daljinsko grijanje toplinom dobivenom iz obnovljivih biogoriva. Obnovljiva energija proizvedena na lokaciji objekta može biti solarna energija, koja se koristi za zagrijavanje vode ili proizvodnju električne energije putem fotonaponskih sustava te energija preuzeta iz okoliša dizalicama topline [29].

Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji za rad tehničkih sustava iznosi:

$$r_{\text{ren}} = \frac{E_{\text{ren}} + E_{\text{ren1}}}{E_{\text{ren}} + E_{\text{del}}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.7.)$$

gdje je:

E_{ren} – obnovljiva energija proizvedena na lokaciji zgrade [kWh],

E_{ren1} – obnovljiva energija isporučena zgradi [kWh],

E_{del} – isporučena energija [kWh].

Za promatrani tehnički sustav obnovljiva energija proizvedena na lokaciji zgrade iznosi 115 235 kWh, obnovljiva energija isporučena zgradi iznosi 0 kWh, a isporučena energija iznosi – 1605 kWh, stoga udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji za rad tehničkog sustava iznosi 100%.

5.3. Ušteda vode

Vodeni resursi su od velike važnosti za ljudski opstanak, a klimatske promjene sve više utječu na dostupnost vode diljem svijeta. Uslijed klimatskih promjena sve se više podiže svijest i skreće se globalna pozornost na značaj i važnost vode te promicanje održivog korištenja vodenih resursa. Klimatske promjene i globalno zatopljenje uzrokuju promjene u ciklusu kruženja vode u prirodi te se pojačava i mijenja intenzitet suša, poplava, otapanja ledenjaka i dolazi do podizanja razine mora. Poremećaj u kruženju vode u prirodi uzrokuje povećanu evaporaciju oceana, jezera, tla i biljaka, što negativno utječe na dostupnost slatkovodnih resursa, osobito u sušnim i polusušnim područjima. Klimatske promjene dovode do nestašice vode, loše kvalitete vode te sve češćih i ekstremnih vremenskih pojava poput poplava i suša. Ekstremne promjene u količini padalina negativno utječu na kvalitetu vode, jer obilne oborine rezultiraju otjecanjem, što dovodi do erozije tla i onečišćenja izvora vode. Ovo je posebno važno za zemlje koje već imaju ograničen pristup čistoj vodi te lošije sanitarne uvjete jer to može uzrokovati porast bolesti i pojavu zdrastvenih problema. Osim što klimatske promjene mogu utjecati na kvalitetu vode, ekstremne promjene u intenzitetu padalina negativno utječu na usjeve u poljoprivredi, ali i na vodnu infrastrukturu i sustave navodnjavanja, te na taj način može doći do poremećaja u opskrbi vodom. Klimatske promjene pogađaju važne sektore poput poljoprivrede, gospodarstva i turizma, ali utječu i na porast razine mora, vodne resurse, ljudsko zdravlje, bioraznolikost i ekosustave [38].

Voda je ograničen resurs i neophodna je za naš svakodnevni život, zbog čega je njeno očuvanje važan čimbenik za okoliš. Prilikom svake upotrebe vode postoji potencijal za njeno očuvanje. S porastom stanovništva, širenjem industrije i utjecajem klimatskih promjena dolazi do sve većeg pritiska na vodene resurse. Najveći problem je prekomjerna upotreba vode te kako bismo smanjili njezinu potrošnju u kućanstvu potrebno je otkloniti moguća curenja vode, osigurati kraće tuširanje, korištenje visokoučinkovitih uređaja koji omogućavaju nižu razinu potrošnje, ponovna upotreba sivih voda i korištenje kišnice [39].

Obzirom na ograničenost vode kao resursa i sve većih potreba, ali i onečišćenja vode, u ovom diplomskom radu kao dodatna mjera razmatrana je ušteda vode uporabom kišnice s ciljem postizanja ekološki održivog hotela. U ovom poglavlju bit će opisana metodologija proračuna uštede vode za ispiranje WC – a na temelju podataka o količini oborina u razdoblju od 2014. godine do 2024. godine u Rijeci, prikupljenih s „*Državnog hidrometeorološkog zavoda*“.

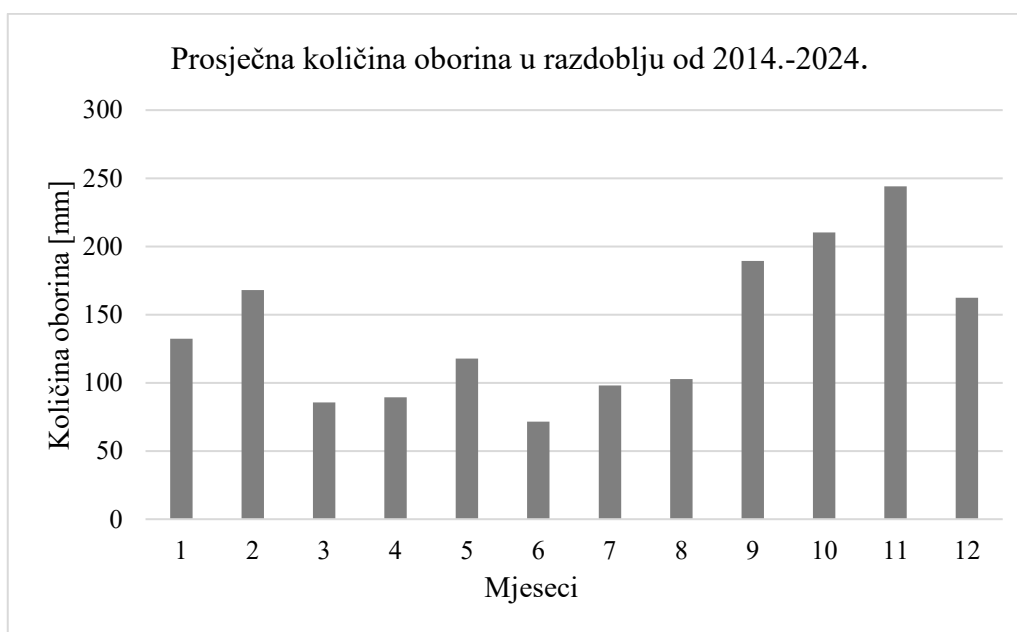
5.3.1. Metodologija proračuna uštede vode

Na temelju podataka o količini oborina u razdoblju od 2014. godine do 2024. godine proračunate su prosječne količine oborina po mjesecima. Dobivene prosječne vrijednosti količine oborina prikazane su u tablici 5.10. Količina oborina mjeri se visinom sloja vode u milimetrima po četvornom metru kojeg bi stvorila oborina kada bi ostala na tlu pod pretpostavkom da ne dolazi do isparavanja niti otjecanja. Prosječne vrijednosti količine oborina u milimetrima pretvorene su u litre, pretpostavljajući da se prosječna količina oborina na krovu hotela površine 290 m² u potpunosti prikuplja te da ne dolazi do isparavanja niti otjecanja.

U dijagramu 5.4. prikazane su promjene količine oborina po mjesecima. Iz dijagrama 5.4. moguće je vidjeti da najveća prosječna količina oborina padne tijekom mjeseca studenog, a najmanja prosječna količina oborina padne tijekom lipnja.

Tablica 5.10. Prosječne količine oborina za zadanu lokaciju

Mjesec	Prosječna količina oborina [mm]	Prosječna količina oborina [l]
I	132,34	38 378,60
II	168,07	48 740,30
III	85,52	24 800,80
IV	89,38	25 920,20
V	117,71	34 135,90
VI	71,59	20 761,10
VII	98,00	28 420,00
VIII	102,71	29 785,90
IX	189,43	54 934,70
X	210,37	61 007,30
XI	244,10	70 789,00
XII	162,29	47 064,10

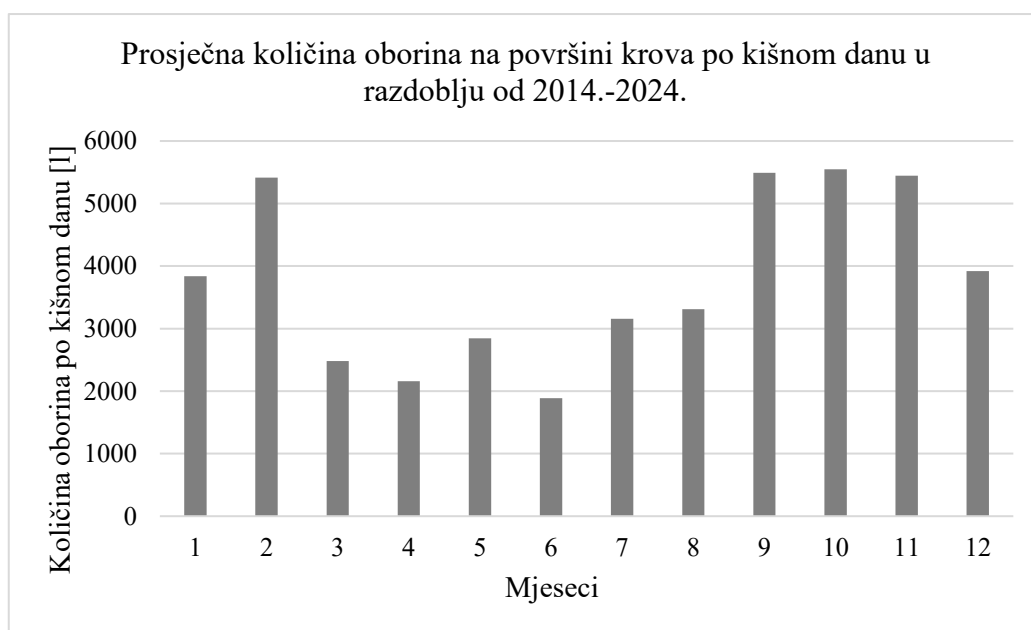


Dijagram 5.4. Prosječna količina oborina po mjesecima u razdoblju od 10 godina

Uzimajući u obzir prosječan broj kišnih dana po mjesecima za razdoblje od deset godina moguće je doći do podatka o prosječnoj količini oborina po kišnom danu, uz pretpostavku da svaki kišni dan u mjesecu padne jednaka količina oborina. Podaci o prosječnom broju kišnih dana po mjesecima prikazani su u tablici 5.11., a prosječna količina oborina po kišnom danu u određenom mjesecu prikazana je u dijagramu 5.5. U dijagramu 5.5. moguće je vidjeti da najveća količina oborina po kišnom danu padne u listopadu.

Tablica 5.11. Prosječan broj kišnih dana za zadanu lokaciju

Mjesec	Prosječan broj kišnih dana
I	10
II	9
III	10
IV	12
V	12
VI	11
VII	9
VIII	9
IX	10
X	11
XI	13
XII	12



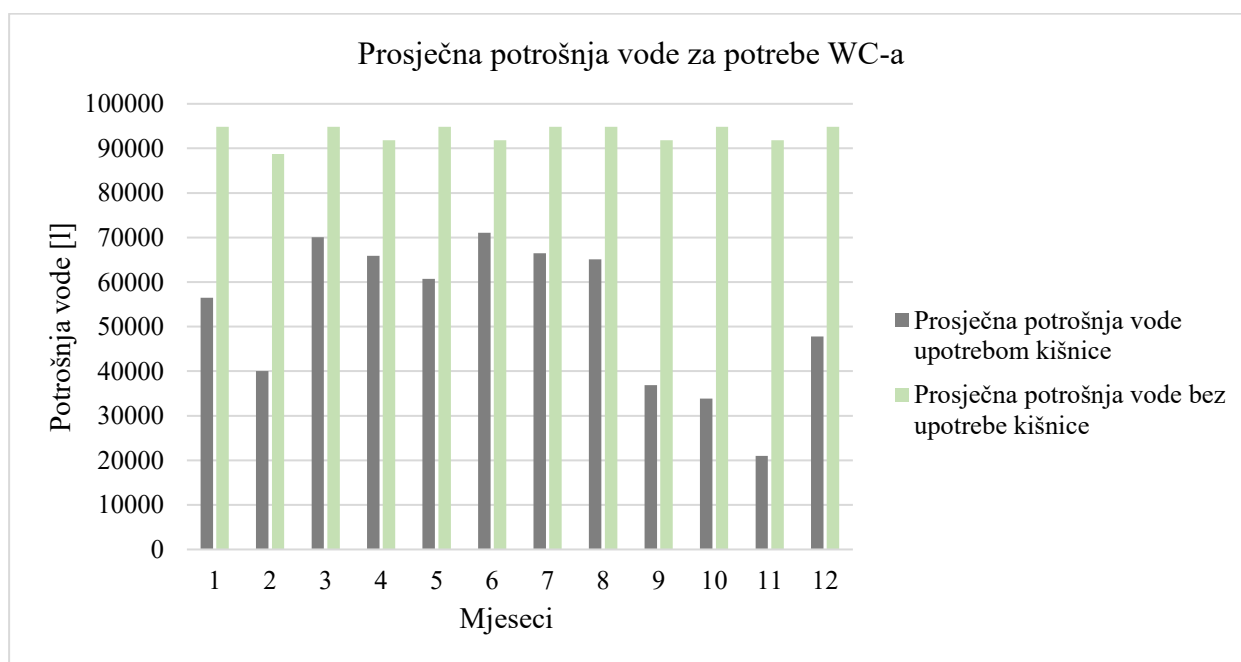
Dijagram 5.5. Prosječna količina oborina na površini krova po kišnom danu u razdoblju od 10 godina

Ako pretpostavimo da u zgradi hotela boravi maksimalno 60 osoba tijekom jednog dana, uključujući goste hotela i osoblje, te ako svaka osoba prosječno troši 51 l vode tijekom upotrebe WC – a možemo doći do podataka o potrošnji vode za ispiranje WC – a tijekom mjeseci. Prosječna potrošnja vode za ispiranje WC – a u zgradi hotela prikazana je u tablici 5.12.

Tablica 5.12. Prosječna potrošnja vode za ispiranje WC - a po mjesecima

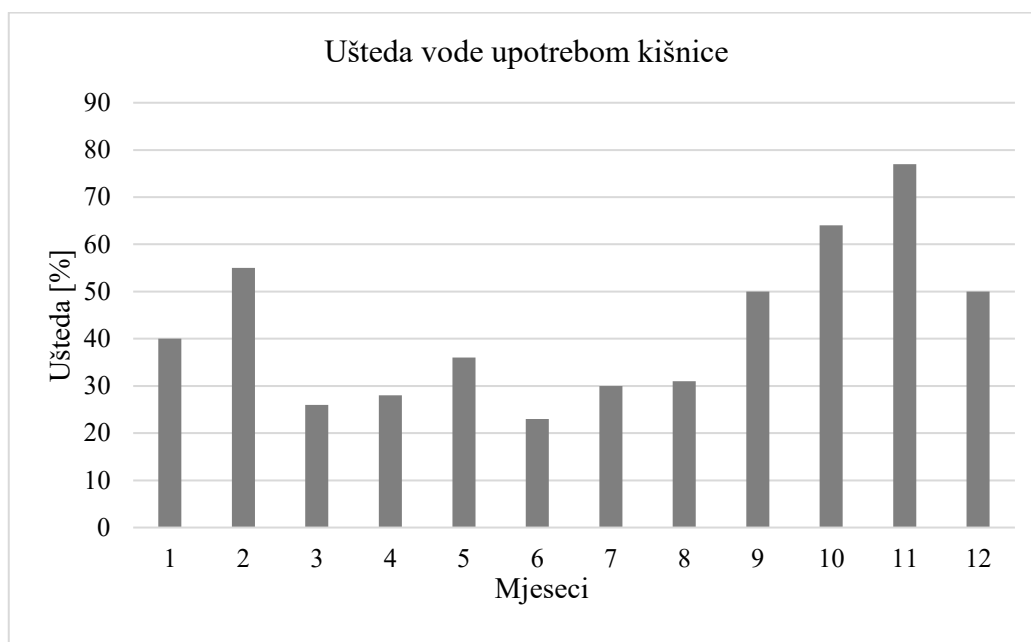
Mjesec	Potrošnja vode za ispiranje WC - a [l]
I	94860
II	88740
III	94860
IV	91800
V	94860
VI	91800
VII	94860
VIII	94860
IX	91800
X	94860
XI	91800
XII	94860

Podatke o uštedi vode za ispiranje WC – a moguće je dobiti ako uzmemo u obzir da se količina oborina po kišnom danu u mjesecu uspije u potpunosti uskladištiti i iskoristiti te da nema gubitaka. Ako na mjesečnoj razini od potrebne količine vode za ispiranje WC – a oduzmemo prosječnu mjesečnu količinu oborina dobit ćemo količinu vode koju je potrebno nadomjestiti za ispiranje WC – a. Na dijagramu 5.6. prikazana je usporedba potrošnje vode za ispiranje WC – a uz korištenje kišnice i bez korištenja kišnice.



Dijagram 5.6. Prosječna potrošnja vode za ispiranje WC - a

Na godišnjoj razini za potrebe ispiranja WC – a u hotelu za 60 osoba u prosjeku je potrebno oko 1 119 960 l vode. Prema podacima „Državnog hidrometeorološkog zavoda“ [40] u prosjeku godišnje padne oko 484 738 l oborina. Upotrebom kišnice za ispiranje WC – a u zgradi hotela na godišnjoj razini moguće je uštediti oko 43% vode. Uštede vode upotrebom kišnice po mjesecima prikazane su na dijagramu 5.7.



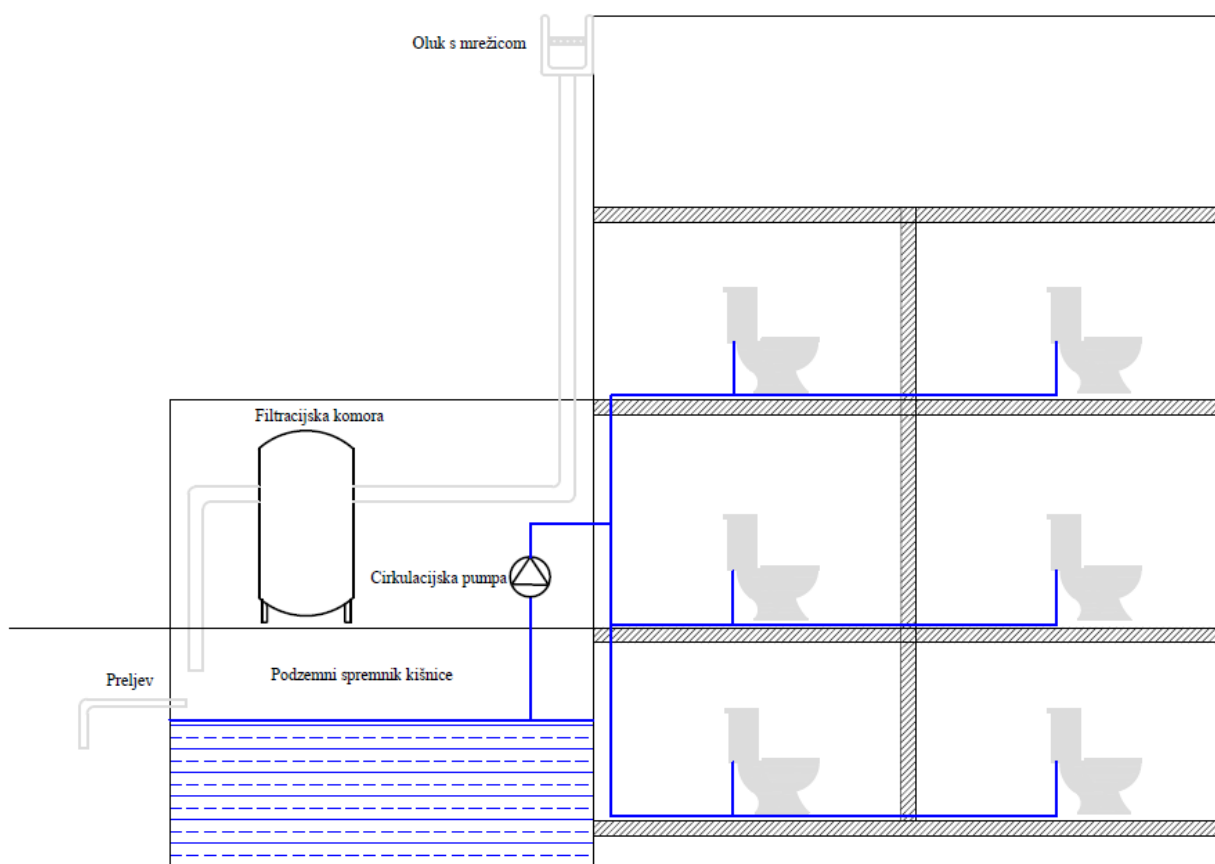
Dijagram 5.7. Mjesečne uštede vode upotrebom kišnice

5.3.2. Sustav iskorištavanja kišnice

Prilikom projektiranja sustava iskorištavanja kišnice za potrebe ispiranja WC – a prvo je potrebno odrediti volumen spremnika za kišnicu. Volumen spremnika je određen na temelju maksimalne količine oborina po kišnom danu u razdoblju od 2014. godine do 2024. godine. Maksimalna količina oborine po kišnom danu iznosi 17 185,4 l u listopadu 2022. godine, te volumen spremnika iznosi 20 000 l. Spremnik u kojem se skladišti kišnica je betonski spremnik, dimenzija 5 x 4 x 1 m, a nalazi se ukopan u gospodarskom dvorištu hotela.

Na krovu se nalaze drenažni otvori i oluk pomoću kojih se voda odvodi do filtracijske komore. Pomoću drenažnih otvora i konstrukcije oluka djelomično se odvaja lišće, insekti i ostale veće nečistoće, a u filtracijskoj komori se dodatno izdvajaju sitnije čestice čime se štiti sustav i povećava se životni vijek sustava. Nakon filtracije voda se skuplja u podzemnom betonskom spremniku, te

se pomoću centrifugalne pumpe voda odvodi u spremnik pod tlakom koji omogućava sustavu optimalni i konstantni dovod vode za ispiranje WC – a. Ovaj sustav sadrži i solenoidni ventil kroz koji prolazi voda pod tlakom te se pomoću njega osigurava sustav od povrata vode, ali mjeri se i potrošnja vode. U slučaju minimalne razine vode u spremniku kišnice, solenoidni ventil dobiva informaciju o minimalnoj razini vode u spremniku te osigurava snabdjevanje sustava vodom iz vodovoda. Spremnik kišnice na određenoj razini spremnika sadrži preljev koji osigurava prelijevanje kišnice koju spremnik ne može uskladištiti u slučaju većih količina oborina. Na slici 5.5. prikazan je princip sustava koji koristi kišnicu za ispiranje sustava.



Slika 5.5. Prikaz sustava za iskorištavanje kišnice

6. ZAKLJUČAK

Zadatak ovog diplomskog rada bio je izraditi koncept hotela neto nulte energetske potrošnje na području sjevernog Jadrana. Proračun toplinskih gubitaka i toplinskog opterećenja izvršen je pomoću programa „IntegraCAD“, a sustav potrošne tople vode proračunat je prema „Viessman“ uputi za projektiranje. Na temelju dobivenih podataka projektiran je termotehnički sustav te je odabrana potrebna oprema. Pomoću programa „KI Expert Plus“ određene su godišnje energetske potrebe hotela za grijanje, hlađenje, pripremu potrošne tople vode, mehaničku ventilaciju, rasvjetu i napajanje električnih trošila.

Kako bi se zadovoljio uvjet zgrade neto nulte energetske potrošnje prvo je potrebno zadovoljiti uvjet specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za zadanu lokaciju i ograničiti je ispod $26,93 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$. Uvjet specifične godišnje potrebne toplinske energije za grijanje zadovoljen je ugradnjom debljeg sloja izolacije na vanjsku ovojnicu zgrade te ugradnjom trostruko izolirajućih prozora s *Low E* premazom uz odgovarajuću zaštitu od pregrijavanja u ljetnim mjesecima. Kako bi se zadovoljio uvjet zgrade neto nulte energije, specifična godišnja primarna energija mora biti jednaka nuli, a to je ostvareno proizvodnjom energije za potrebe hotela iz obnovljivih izvora energije. Ovi uvjeti zadovoljeni su ugradnjom 93 fotonaponska modula koja generiraju dovoljnu količinu električne energije za potrebe hotela uz korištenje sustava za predgrijavanje potrošne tople vode toplinom otpadnih voda iz hotela i korištenjem sustava za kontrolu rasvjete. Jedna od dodatnih mjera uštede je upotreba kišnice za ispiranje WC – a čime je moguće uštediti oko 43% vode na godišnjoj razini.

Za postizanje zgrade neto nulte energije potrebno je obratiti posebnu pozornost na karakteristike zgrade koje utječu na potrebnu toplinsku energiju za grijanje poput kvalitete ovojnice zgrade, orijentacije zgrade te otvora i zaštite od sunčeva zračenja. Potrebno je predvidjeti uporabu energetske učinkovitih sustava grijanja, klimatizacije i ventilacije i kombinirati ih s obnovljivim izvorima energije, koristiti učinkovit sustav rasvjete te omogućiti inteligentno upravljanje radom i nadzorom cjelokupnog sustava zgrade kako bi se smanjila potrošnja energije, troškovi te povećala sigurnost uporabe, ali i zaštitio okoliš.

Optimiziran energetska koncept uz korištenje obnovljivih izvora energije omogućit će manju potrošnju energije te niže investicijske troškove, a u konačnici omogućiti sigurnu opskrbu energije i promovirati tehnološki razvoj.

LITERATURA

- [1] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja: „Smjernice za zgrade gotovo nulte energije – prvi dio“, Zagreb, 2019.
- [2] Lora, A.: „The energy – saving from an HVAC – solution is the most sustainable and cost – efficient source of energy“, s Interneta, <https://blog.swegon.com/en/the-energy-saving-from-an-hvac-solution-is-the-most-sustainable-and-cost-efficient-source-of-energy>, 15. veljače 2024.
- [3] „Boutiquehotel Stadthalle“, s Interneta, <http://www.greentourism.eu/en/CaseStudy/Details/8>, 15. veljače 2024.
- [4] Shehadi, M.: „Net-Zero Energy Buildings: Principles and Applications“, IntechOpen, United States, 2020.
- [5] Jaysawal, K., J.; Chakraborty, S.; Elangovan, D.; Padmanaban, S.: „Concept of net zero energy buildings (NZEB) – A literature review“, Cleaner Engineering and Technology, 2022.
- [6] Europska komisija: „Europski zeleni plan“, s Interneta, <https://www.consilium.europa.eu/hr/policies/green-deal/>, 1. ožujka 2024.
- [7] Europska komisija: „Novi ciljevi za 2040.: preporuka za postizanje klimatske neutralnosti do 2050.“, s Interneta, https://commission.europa.eu/news/recommendation-2040-target-reach-climate-neutrality-2050-2024-02-06_hr, 1. ožujka 2024.
- [8] „Energetska učinkovitost zgrada“, s Interneta, <https://eur-lex.europa.eu/HR/legal-content/summary/energy-performance-of-buildings.html>, 1. ožujka 2024.
- [9] „Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama“
- [10] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja: „Program poticanja gradnje novih i obnavljanje postojećih zgrada do standarda gotovo nulte energije“, s Interneta, https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Program_nZEB.pdf, 1. ožujka 2024.
- [11] Wolf, I: „Fizika zgrade“, predavanje iz kolegija „Tehnika klimatizacije i automatska regulacija“, 2022.
- [12] „Metodologija proračuna toplinskih gubitaka prema normi HRN EN 12831“
- [13] „Proračun toplinskog opterećenja prostora prema VDI 2078“

- [14] Viessmann: „Uputa za projektiranje – Centralno zagrijavanje pitke vode s Viessmann spremnicima PTV – a“, 2010.
- [15] Wolf, I.: „Dizalice topline“, predavanje iz kolegija „Tehnika grijanja“, 2020.
- [16] Wolf, I.: „Sustavi grijanja“, predavanje iz kolegija „Tehnika grijanja“, 2020.
- [17] Intel trade: „Aquaciat 2“, s Interneta, https://www.intel-trade.hr/files/HR_NA12590E_Aquaciat2evolution.pdf, 5. ožujka 2024.
- [18] Lipovica: „Radijator SOLAR“, s Interneta, <https://lipovica.hr/hr/radijator-solar>, 5. ožujka 2024.
- [19] Panasonic: „Pametni ventilokonvektori“, s Interneta, https://www.aircon.panasonic.eu/HR_hr/product/aquarea-air-radiators-1-1/, 5. ožujka 2024.
- [20] Wolf, I.: „Sustavi za pripremu potrošne tople vode“, predavanje iz kolegija „Tehnika grijanja“, 2020.
- [21] Viessmann: „Vitocell 100-L informacijski list“, s Interneta, <https://www.viessmann.hr/hr/proizvodi/uredaji-za-pripremu-tople-vode/vitocell-100-l.html>, 5. ožujka 2024.
- [22] Intel trade: „Aquaciat Caleo“, s Interneta, https://www.intel-trade.hr/files/HR_NA11670A_Aquaciat%20Caleovc.pdf, 5. ožujka 2024.
- [23] Wolf, I.: „Sustavi ventilacije i klimatizacije“, predavanje iz kolegija „Tehnika klimatizacije i automatska regulacija“, 2022.
- [24] Wolf, I.: „Središnji sustavi ventilacije i klimatizacije“, predavanje iz kolegija „Tehnika klimatizacije i automatska regulacija“, 2022.
- [25] Atrea: „Proizvodi“, s Interneta, <https://atrea.eu/hr/proizvodi/>, 6. ožujka 2024.
- [26] Klimaoprema: „Stropni distributeri DEK-R“, s Interneta, <https://hvac.klimaoprema.hr/index.php?prefix=element&elid=292#&tab=Calculation>, 7. ožujka 2024.
- [27] Atrea: „VARIANT“, s Interneta, <https://atrea.eu/hr/proizvodi/variant/>, 7. ožujka 2024.
- [28] Klimaoprema: „Zračni ventil ZOV“, s Interneta, <https://hvac.klimaoprema.hr/index.php?prefix=element&elid=306#&tab=Dimensions>, 7. ožujka 2024.

- [29] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja: „Smjernice za zgrade gotovo nulte energije – drugi dio“, Zagreb, 2019.
- [30] Wehbi, Z.; Taher, R.; Faraj, J.; Ramadan, M.; Castelain, C.; Khaled, M.: „A short review of recent studies on wastewater heat recovery systems: Types and applications“, Energy Reports 8, 896-907, 2022.
- [31] Wehbi, Z.; Taher, R.; Faraj, J.; Lemenand, T.; Mortazavi, M.; Khaled, M.: „Waste Water Heat Recovery Systems types and applications: Comprehensive review, critical analysis, and potential recommendations“, Energy Reports 9, 16-33, 2023.
- [32] Zeb, A.; de Andarde Romero, M.; Baiguskarov, D.; Aitbayev S.; Strelets, K.: „LED Lightbulbs as a Source of Electricity Saving in Buildings“, s Interneta, https://www.researchgate.net/publication/306070245_LED_Lightbulbs_as_a_Source_of_Electricity_Saving_in_Buildings, 4. travnja 2024.
- [33] Wolf, I.: „Fotonaponski sustavi“, predavanje iz kolegija „Obnovljivi izvori energije“, 2022.
- [34] RECOM: „Lion Series“, s Interneta, <https://recom-tech.com/lion-series/>, 15. travnja 2024.
- [35] Wolf, I.: „Iskorištavanje sunčeve energije“, predavanje iz kolegija „Obnovljivi izvori energije“, 2022.
- [36] Wikipedia: „Photovoltaic thermal hybrid solar collector“, s Interneta, https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic_thermal_hybrid_solar_collector, 28. travnja 2024.
- [37] Sunmaxx: „Sunmaxx PVT“, s Interneta, <https://sunmaxx-pvt.com/solution/>, 28. travnja 2024.
- [38] Rawat, A.; Kumar, D.; Khatri, B., S.: „A review on climate change impacts, models, and its consequences on different sectors: a systematic approach“, Journal of Water and Climate Change, Vol 15, No , 104-126, 2023.
- [39] Singha, B.; Eljamal, O.: „A Review on Water Conservation and Consumption Behavior: Leading Issues, Promoting Actions, and Managing the Policies“, Conference Paper in Proceedings of International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences, 2022.
- [40] Državni hidrometeorološki zavod: „Ukupna mjesečna i godišnja količina oborine“, s Interneta https://meteo.hr/klima.php?section=klima_podaci¶m=k2_1&Godina=2024, 20. ožujka 2024.
- [41] „Case study: Rainwater to flush toilets in a green building“, s Interneta, <https://www.premiertechaqua.com/en-us/case-studies/case-study-rainwater-flush-toilets-green-building>, 29. ožujka 2024.

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Utjecaj održivih zgrada na okoliš, društvo i ekonomski razvoj [4]	3
Slika 2.2. Najveće dopuštene vrijednosti za nove zgrade grijane i/ili hladene na temperaturu 18 °C ili više [9]	7
Slika 3.1. Prikaz transmisijskih toplinskih gubitaka	12
Slika 4.1. Dizalica topline "Aquaciat 2" [17]	36
Slika 4.2. Prikaz odabranog ventilokonvektora [19]	40
Slika 4.3. Dizalica topline "Aquaciat Caleo" [22]	43
Slika 4.4. Klima-komora DUPLEX 4500 Multi Eco [25]	45
Slika 4.5. Klima-komora DUPLEX 3400 Basic [25]	46
Slika 4.6. Anemostat [26]	47
Slika 4.7. Kuhinjska napa VARIANT [27]	48
Slika 4.8. Zračni ventil ZOV 125 [28]	48
Slika 5.1. Sustav za predgrijavanje potrošne tople vode	56
Slika 5.2. Temperaturna raspodjela struja u ovisnosti o površini protusmjernog rekuperatora	57
Slika 5.3. Fotonaponski modul [34]	66
Slika 5.4. Prikaz PVT modula [37]	69
Slika 5.5. Prikaz sustava za iskorištavanje kišnice	78

POPIS TABLICA

Tablica 3.1. Koeficijenti prolaza topline	13
Tablica 3.2. Unutarnje projektne temperature prostorija.....	13
Tablica 3.3. Ukupni toplinski gubici po prostorijama za podrum, prizemlje, 1. i 2. kat.....	21
Tablica 3.4. Ukupni toplinski gubici po prostorijama za 2. kat, 3. kat, 4. kat i krovnu etažu	22
Tablica 3.5. Ukupni toplinski gubici zgrade hotela.....	23
Tablica 3.6. Unutarnje projektne temperature hlađenih prostorija hotela	23
Tablica 3.7. Ukupno toplinsko opterećenje zgrade hotela za podrum, prizemlje, 1. i 2. kat	28
Tablica 3.8. Ukupno toplinsko opterećenje zgrade hotela za 3. i 4. kat	29
Tablica 3.9. Ukupno toplinsko opterećenje zgrade hotela.....	29
Tablica 3.10. Usvojeni protoci zraka po zonama	31
Tablica 3.11. Potrebni učini grijanja i hlađenja zraka	31
Tablica 3.12. Zahtjevi potrošnje prema mjestu potrošnje [14].....	32
Tablica 4.1. Tehničke karakteristike dizalice topline [17].....	36
Tablica 4.2. Tehničke karakteristike odabranih radijatora [18].....	37
Tablica 4.3. Broj usvojenih članaka i ogrjevnih tijela po zonama	39
Tablica 4.4. Tehničke karakteristike ventilokonvektora [19]	40
Tablica 4.5. Tehničke karakteristike spremnika PTV-a [21]	42
Tablica 4.6. Tehničke karakteristike dizalice topline [22].....	43
Tablica 4.7. Tehničke karakteristike klima-komora [25].....	45
Tablica 4.8. Tehničke karakteristike anemostata [26]	47
Tablica 4.9. Tehničke karakteristike kuhinjske nape [27]	48
Tablica 4.10. Tehničke karakteristike zarčnih ventila [28].....	49
Tablica 5.1. Karakteristike građevnih elemenata ovojnice zgrade.....	51
Tablica 5.2. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje po zonama	52

Tablica 5.3. Potrebna toplinska energija za pripremu PTV – a bez korištenja topline otpadne vode	59
Tablica 5.4. Potrebna toplinska energija za pripremu PTV - a uz korištenje topline otpadne vode	60
Tablica 5.5. Podaci o potrebnoj električnoj i primarnoj energiji za rasvjetu bez uštede energije .	62
Tablica 5.6. Podaci o potrebnoj električnoj i primarnoj energiji za rasvjetu s uštedom energije..	62
Tablica 5.7. Tehničke karakteristike fotonaponskog modula [34]	67
Tablica 5.8. Tehničke karakteristike PVT modula [37].....	70
Tablica 5.9. Godišnje proizvedena toplinska energija iz obnovljivih izvora energije.....	70
Tablica 5.10. Prosječne količine oborina za zadanu lokaciju.....	74
Tablica 5.11. Prosječan broj kišnih dana za zadanu lokaciju	75
Tablica 5.12. Prosječna potrošnja vode za ispiranje WC - a po mjesecima	76

POPIS DIJAGRAMA

Dijagram 5.1. Godišnja potrebna energija za grijanje i hlađenje po zonama hotela.....	53
Dijagram 5.2. Usporedba potrebne toplinske energije za pripremu PTV - a	60
Dijagram 5.3. Usporedba potrebne električne i primarne energije za rasvjetu	63
Dijagram 5.4. Prosječna količina oborina po mjesecima u razdoblju od 10 godina	74
Dijagram 5.5. Prosječna količina oborina na površini krova po kišnom danu u razdoblju od 10 godina	75
Dijagram 5.6. Prosječna potrošnja vode za ispiranje WC - a.....	76
Dijagram 5.7. Mjesečne uštede vode upotrebom kišnice.....	77

SAŽETAK

Cilj ovog rada je zadovoljiti uvjet neto nulte energije za zgradu hotela, integracijom različitih sustava kako bi se smanjila potrošnja energije. Za razliku od tradicionalnih hotela, koji često doprinose emisiji stakleničkih plinova, hotel neto nulte energije predstavlja održivu alternativu bez ugrožavanja udobnosti i luksuza. U skladu s tehničkim propisima i standardima smanjila se godišnja potrebna energija za grijanje i primarna energija. Upotrebom odgovarajuće debljine izolacije, prozora i zaštite od sunčeva zračenja maksimizirala se toplinska učinkovitost. Koriste se nekonvencionalni izvori energije kao što je otpadna toplina vode kao dopuna sustavu za grijanje potrošne tople vode. Sustav za sakupljanje kišnice prikuplja oborine, koje se koriste za ispiranje WC – a, čime se smanjuje pritisak na vodne resurse i ukupna potrošnja vode. Upotrebom kontrole rasvjete i učinkovitih rasvjetnih tijela, objekt optimizira razinu osvjetljenja i minimizira nepotrebnu potrošnju električne energije. Fotonaponski sustav koristi solarnu energiju za proizvodnju električne energije te se na taj način povećava samodostatnost hotela, ali se i smanjuju emisije stakleničkih plinova. Hotel neto nulte energije na području sjevernog Jadrana predstavlja inovativnost i održivost u sektoru ugostiteljstva integracijom obnovljivih izvora energije i optimizacijom resursa.

Ključne riječi: neto nulta energija, obnovljivi izvori energije, toplina otpadne vode, sustav kišnice, fotonaponski sustav

SUMMARY

The aim of this thesis is to provide net-zero energy hotel building by integrating different systems in order to reduce energy consumption. In contrast to traditional hotels, which often contribute to greenhouse gas emissions, a net-zero energy hotel represents a sustainable alternative without compromising guest comfort or luxury. In accordance with technical regulations and standards, the annual required energy for heating and primary energy has decreased. Thermal efficiency was maximized by using the appropriate thickness of insulation, windows and protection from solar radiation. Non-conventional energy sources such as waste water heat are used to supplement domestic hot water heating systems. Rainwater harvesting system collects precipitation that is used to flush toilets, thereby reducing pressure on water resources and overall water consumption. By employing advanced lighting controls and efficient fixtures, the facility optimizes illumination levels while minimizing energy wastage. The photovoltaic system uses solar energy to produce electricity, thus increasing the hotel's self-sufficiency, but also reducing greenhouse gas emissions. The net-zero energy hotel in the area of the northern Adriatic represents innovation and sustainability in the hospitality sector by integrating renewable energy sources and optimizing resources.

Keywords: net-zero energy, renewable energy sources, waste water heat, rainwater harvesting system, photovoltaic system

POPIS PRILOGA

Prilog I. Proračun toplinskih gubitaka i toplinskog opterećenja pomoću programa IntegraCAD

Prilog II. Proračun fotonaponskog sustava

Prilog III. Situacijski nacrt

Prilog IV. Arhitektonske podloge zgrade hotela

Prilog V. Funkcionalna shema spajanja

Prilog VI. Dispozicija fotonaponskog sustava

Prilog VII. Dispozicija fotonaponskog i PVT sustava