

# Sustav grijanja potrošne tople vode i vode u zatvorenom bazenu temeljen na obnovljivim izvorima energije

---

**Pihir, Evelina**

**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:190:126428>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-12**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni diplomski studij strojarstva

Diplomski rad

**SUSTAV GRIJANJA POTROŠNE TOPLE VODE I VODE U  
ZATVORENOM BAZENU TEMELJEN NA OBNOVLJIVIM  
IZVORIMA ENERGIJE**

Rijeka, studeni 2024.

Evelina Pihir  
0035188106

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni diplomski studij strojarstva

Diplomski rad

**SUSTAV GRIJANJA POTROŠNE TOPLE VODE I VODE U  
ZATVORENOM BAZENU TEMELJEN NA OBNOVLJIVIM  
IZVORIMA ENERGIJE**

Mentor: prof. dr. sc. Igor Wolf

Rijeka, studeni 2024.

Evelina Pihir  
0035188106

ORIGINAL ZADATAK

## IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZVEDBI RADA

Prema članku 9. „Pravilnika o diplomskom radu, diplomskom ispitu i završetku sveučilišnih diplomskih studija“ Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, te „Uputama za izradu i samoarhiviranje završnog / diplomskog rada“ izjavljujem da sam samostalno, uz konzultacije s mentorom, primjenjujući znanja stečena tijekom studija izradila ovaj diplomski rad na temu „Sustav grijanja potrošne tople vode i vode u zatvorenom bazenu temeljen na obnovljivim izvorima energije“

Rijeka, rujan 2024.

---

Evelina Pihir  
0035188106

## ZAHVALA

Zahvaljujem se svom mentoru, prof.dr.sc. Igoru Wolfu, na strpljenju, stručnoj pomoći i vodstvu pri izradi ovog diplomskog rada. Također se zahvaljujem svojim roditeljima, Slobodanki i Vladi, zaručniku Emilu te ostalim članovima obitelji i svim vjernim prijateljima na ustrajnoj podršci tokom dugih godina mojeg studiranja.

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	3
2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE .....	4
2.1. Sunčeva energija.....	5
2.2. Energija vjetra.....	6
2.3. Hidroenergija .....	6
2.4. Biomasa, otpad i biogorivo .....	6
2.5. Geotermalna energija .....	7
2.6. Energija plime i oseke, morskih struja i valova .....	7
3. DIZALICE TOPLINE.....	9
3.1. Dizalice topline tlo - voda .....	10
3.2. Dizalice topline voda – voda .....	11
3.3. Dizalice topline zrak – voda .....	12
4. OPIS PREDMETNOG KOMPLEKSA .....	14
5. PRORAČUNI POTREBNE TOPLINE .....	17
5.1. Proračun potrebne topline za zagrijavanje bazena.....	17
5.1.1. Ishlapljivanje vode .....	17
5.1.2. Provođenje topline kroz oplošje bazena.....	18
5.1.3. Dodavanje svježje vode .....	19
5.1.4. Rekapitulacija toplinske bilance bazena .....	20
5.2. Proračun potrebne topline za zagrijavanje PTV-a.....	21
5.3. Proračun spremnika PTV-a .....	22
5.4. Proračun sunčanih toplinskih kolektora .....	23
5.5. Proračun spremnika za zagrijavanje PTV-a sunčanim kolektorima .....	27
6. OPIS IDEJNIH RJEŠENJA.....	29
6.1. Dizalica topline zrak - voda .....	29
6.2. Dizalica topline zrak – voda sa sunčanim kolektorima.....	31
6.3. Dizalica topline voda - voda.....	33

6.4. Dizalica topline voda – voda sa sunčanim kolektorima.....	37
7. ENERGETSKA ANALIZA RAZMATRANIH IZVEDBI SUSTAVA.....	38
7.1. Definicija fizike zgrade .....	38
7.2. Proračun potrebne energije .....	44
7.3. Definiranje termotehničkih sustava.....	45
7.4. Proračun isporučene i primarne energije .....	46
7.5. Rezultati proračuna .....	47
8. EKONOMSKA ANALIZA .....	50
9. RAZRADA ODABRANOG RJEŠENJA.....	54
9.1. Tehnički opis sustava .....	54
9.2. Program kontrole .....	55
9.2.1. Opći uvjeti izvođenja .....	55
9.2.1. Posebni uvjeti izvođenja .....	55
9.3. Tehnički proračuni .....	56
9.3.1. Dizalica topline zrak - voda .....	56
9.3.2. Pogonska pumpa .....	59
9.3.3. Izmjenjivač topline .....	61
9.3.4. Toplinska podstanica .....	61
10. SPECIFIKACIJA MATERIJALA, OPREME I RADOVA .....	64
11. ZAKLJUČAK .....	68

LITERATURA

POPIS OZNAKA

POPIS TABLICA

POPIS SLIKA

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

ABSTRACT AND KEYWORDS

POPIS PRILOGA



## 1. UVOD

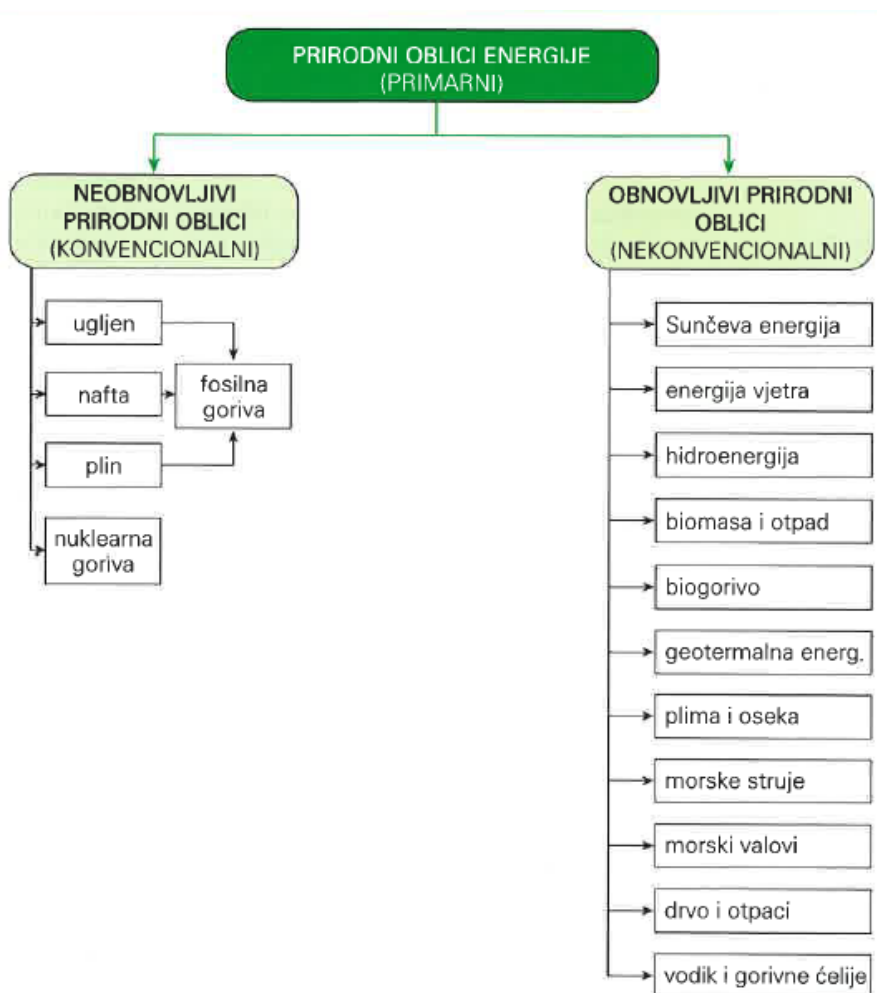
Tehnološki napredak i povećanje životnog standarda u posljednjih stotinjak godina uzrokovali su dramatičan porast potrošnje energije u svijetu. Najveći porast potrošnje energije dogodio se, prema Međunarodnoj agenciji za energiju, u 21. stoljeću [1]. Većina potrebne energije još uvijek se koristi iz primarno fosilnih goriva. Njihovo korištenje uzrokuje značajne klimatske promjene, kao što su: stvaranje efekta staklenika, porast globalne temperature i učestalije ekstremne vremenske prilike (uragani, suše, poplave). Razvitak alternativnih, obnovljivih izvora energije potaknut je naftnom krizom 1973. godine, koja je ukazala na osjetljivost globalne opskrbe energijom. Ekološki pokreti devedesetih godina prošlog stoljeća pokazali su da korištenje obnovljivih izvora energije, osim neovisnosti u energetskej obnovi, doprinose zdravlju ljudi i očuvanju ekosustava. Razvitak tehnologija za iskorištavanje obnovljivih izvora i primjena tih tehnologija istaknuli su se kao cilj kojemu treba težiti svaki pojedinac, jer on, dugoročno, predstavlja održivi opstanak civilizacije. U današnje vrijeme mnoge zemlje su postavile ambiciozne ciljeve prelaska na obnovljive izvore do 2030. i 2050. godine. Republika Hrvatska se aktivno zalaže za korištenje obnovljivih izvora energije te joj je cilj, uz primjenu postojećih mjera u promjenama energetskeg sektora, do 2030. godine postići udio obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji energije od 35,7 % [2].

Ovaj rad obrađuje temu primjene obnovljivih izvora energije za potrebe zagrijavanja potrošne tople i bazenske vode u obrazovnom kompleksu u Tkonu. Razmotrene su četiri osnovne izvedbe sustava, pri čemu su kao generatori topline u obzir uzete kompresijske dizalice topline zrak – voda i voda – voda u kombinaciji s dodatnim sustavom sunčanih toplinskih kolektora.

Na temelju energetske i ekonomske analize idejnih rješenja odabran je najprikladniji sustav.

## 2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Kemijske reakcije u unutrašnjosti Zemlje i elektromagnetno zračenje koje od Sunca prolazi kroz atmosferu i pada na Zemljinu površinu glavni su izvori energije koji omogućavaju život na Zemlji. Prirodni izvori energije mogu se podijeliti na neobnovljive (većinom konvencionalne) i obnovljive (većinom nekonvencionalne). Neobnovljivi izvori energije ne mogu se regenerirati niti ponovno proizvesti. Obnovljivi izvori energije skladišteni su u prirodi i obnavljaju se (gotovo) u cijelosti. Energetski izvor može se smatrati obnovljivim ako je njegova izdašnost veća ili jednaka njegovoj potrošnji u istom vremenskom razdoblju [3]. Podjela prirodnih izvora energije vidljiva je na slici 2.1.



Slika 2.1. Podjela prirodnih oblika energije [4]

Optimalnim korištenjem obnovljivih izvora energije mogao bi se ublažiti, i dugoročno gledano, riješiti problem klimatskih promjena s kojima se danas suočavamo. Osim toga povećala bi se neovisnost pojedine zemlje u pogledu uvoza energenata i potaknuo razvoj ruralnih područja.

## 2.1. Sunčeva energija

Energija izravnog sunčevog zračenja koja dopijeva na Zemljinu površinu nejednoliko je raspoređena tijekom godine i tijekom pojedinog dana uslijed oblika Zemlje, njene putanje oko Sunca te nagiba Zemljine osi na ravninu te putanje. Sve te promjene su, doduše, pravilne, pa je snaga Sunčeva zračenja na gornjoj granici atmosfere uvijek ista i iznosi  $1,75 \cdot 10^{14}$  kW, a godišnji dotok energije je  $1,53 \cdot 10^{18}$  kWh. Od te ukupne energije, 70 % dopire na Zemlju, gdje služi za zagrijavanje površine, isparavanje voda i nastajanje oborina, nastajanje vodenih i zračnih strujanja te fotosintezu biljaka.

Sunčeva energija može se koristiti pasivno i aktivno. Pasivno korištenje Sunčeve energije primjenjuje se u sektoru građevine, gdje se primjenom načela solarne arhitekture smanjuje ukupna potrebna toplina za grijanje zgrada. Sustavi za aktivno iskorištavanje sunčeve energije pretvaraju tu energiju u druge oblike energije koji se koriste za grijanje, hlađenje, pripremu potrošne tople vode (PTV) i proizvodnju električne energije.

Najjednostavniji sustavi za pretvorbu sunčeve energije u toplinsku su sustavi sunčanih toplinskih kolektora koji se koriste za grijanje PTV-a te kao potpora za osnovni sustav grijanja. Glavne komponente sustava su: sunčani kolektor, akumulacijski spremnik, cirkulacijska pumpa, automatska regulacija rada i dodatni izvor energije koji dogrijava vodu u periodu kada Sunčevo zračenje nije dovoljno. Sunčeva energija dozračuje se na apsorber kolektora, gdje se pretvara u toplinu koja se predaje solarnom mediju. Zagrijani solarni medij tu toplinsku energiju odvodi u spremnik, u kojem se ta toplina akumulira u PTV-u ili ogrjevnom mediju sustava grijanja.

U postrojenjima sunčanih termoelektrana dozračena energija se koristi za proizvodnju električne energije. Sunčane termoelektrane iskorištavaju toplinu izravnog Sunčevog zračenja putem koncentratora koji mogu biti parabolične i heliostatske izvedbe. Sunčeva energija se prvo pretvara u toplinsku energiju koju radni medij vodena para prenosi do parne turbine u kojoj se ekspanzijom njena kinetička energija pretvara u mehaničku. Električni generator nastalu mehaničku energiju pretvara u električnu energiju koja se predaje u elektrodistribucijsku mrežu.

Sunčani fotonaponski sustavi sastoje se od fotonaponskih modula, pretvarača istosmjernje u izmjeničnu struju, te eventualno akumulatora, regulatora punjenja i dodatnih generatora. Za sigurnost rada u periodima smanjene dozračene energije, ovakvi sustavi koriste dodatni izvor energije. Osnovna podjela fotonaponskih sustava je na otočne (samostalne) i umrežene sustave. Proizvedena električna energija se kod otočnih sustava pohranjuje u akumulator, a kod umreženih sustava se predaje u elektrodistribucijsku mrežu.

## **2.2. Energija vjetra**

Temperaturne razlike na Zemljinoj površini, nastale uslijed nejednolikog zagrijavanja, uzrokuju gibanje zraka. Gibanje zraka paralelno sa Zemljinom površinom naziva se vjetrom. Strojevi koji iskorištavaju energiju vjetra nazivaju se vjetroturbinama. Kinetička energija gibanja pretvara se na vjetroturbini u mehaničku energiju za pogon električnog generatora kojim se proizvodi električna energija. Niz blisko smještenih vjetroturbina naziva se vjetroelektranom. S obzirom na to da brzina vjetra nije konstantna i nije predvidiva, bitno je ovakva postrojenja dimenzionirati i pozicionirati nakon detaljnih mjerenja na promatranoj lokaciji. Osim na kopnu, vjetroturbine se mogu postavljati i u priobalju i na pučini. Osim brzine vjetra, lokacija i veličina vjetroelektrana uvelike ovisi o uvjetima zaštite okoliša i mogućnosti spoja na elektrodistribucijsku mrežu. Manje vjetroelektrane mogu služiti za opskrbu električnom energijom izoliranih područja u kombinaciji s dodatnim izvorom, npr. fotonaponskim sustavom.

## **2.3. Hidroenergija**

Hidroenergija je potencijalna energija sadržana u vodenoj masi na visinskoj razlici i kinetička energija sadržana u kretanju vodene mase. Hidroelektrane koriste energiju vodenih tokova za pogon vodne turbine čija rotirajuća osovina pogoni generator za proizvodnju električne energije. Akumulacijske hidroelektrane spojene su tlačnim cjevovodom na akumulacijsko jezero smješteno na većoj nadmorskoj visini. Protočne hidroelektrane koriste se prirodnim tokovima rijeka te ih karakterizira mali pad vode uz razmjerno veliku količinu te vode. Male hidroelektrane ne moraju biti povezane u elektrodistribucijski sustav i mogu se koristiti izolirano te je njihov utjecaj na okoliš minimalan. Velike hidroelektrane znatno utječu na okoliš uslijed izgradnje velikih umjetnih akumulacijskih jezera potrebnih za njihov rad.

## **2.4. Biomasa, otpad i biogorivo**

Biomasa je biorazgradivi dio proizvoda, ostataka i otpadaka od poljoprivrede, šumarstva i drvne industrije, kao i biorazgradivi dijelovi komunalnog i industrijskog otpada čije je energetske korištenje dopušteno [5]. Povijesno, prvi način dobivanja toplinske energije je bio direktnim izgaranjem biomase, tj. ogrjevnog drva. Drvna biomasa smatra se obnovljivim izvorom uz uvjet pravovremenog pošumljavanja recipročnog potrošnji. Direktno izgaranje drva, iako energetski

najneučinkovitiji način, još uvijek se u velikoj mjeri koristi za dobivanje potrebne topline za grijanje i kuhanje u manjim sredinama. Osim izravne uporabe, biomasu je moguće preraditi kemijskim procesima u biogoriva koja mogu pokretati motore s unutarnjim izgaranjem ili se koristiti u kogeneraciji za proizvodnju toplinske i električne energije.

## **2.5. Geotermalna energija**

Kemijskim procesima u središtu Zemlje konstantno nastaje unutrašnja toplina koja prodire prema Zemljinoj površini. Zagrijavanjem slojeva Zemljine kore geotermalna energija ostaje pohranjena u vidu toplinske energije tla i podzemnih ležišta vode koja mjestimično izbija na površinu u obliku vrele vode ili vodene pare. Ta toplinska energija koristi se direktno za grijanje i hlađenje, te indirektno, kao medij u postrojenjima za proizvodnju električne energije. Geotermalna energija može se koristiti direktno i indirektno. Direktno iskorištavanje podrazumijeva crpljenje zagrijane vode ili vodene pare iz geotermalnog ležišta na površinu gdje se ona hladi i ohlađena vraća u unutrašnjost, a indirektno iskorištavanje odnosi se na iskorištavanje topline suhih vrućih stijena, tako da se hladna voda upumpava u umjetne pukotine te se zagrijana crpi van za korištenje u proizvodnom procesu.

## **2.6. Energija plime i oseke, morskih struja i valova**

Energija plime i oseke potječe od međugravitacijskog djelovanja između Zemlje i Mjeseca, a iskoristiva je na lokacijama gdje postoje velike razlike u razini mora. Hidroelektrane na plimu i oseku koriste brane s dvosmjernim propuštanjem vode. Kada je visinska razlika između razine mora i akumulacije iza brane dovoljna zapornice se otvaraju i iskorištava se potencijalna energija akumulacije sve dok postoji minimalan pad potreban za rad turbine. Dolaskom plime razina mora je veća od razine akumulacijskog bazena te se njena energija iskorištava na isti način samo u obrnutom smjeru. Elektrane ovog tipa imaju velik utjecaj na okoliš i velike investicijske troškove.

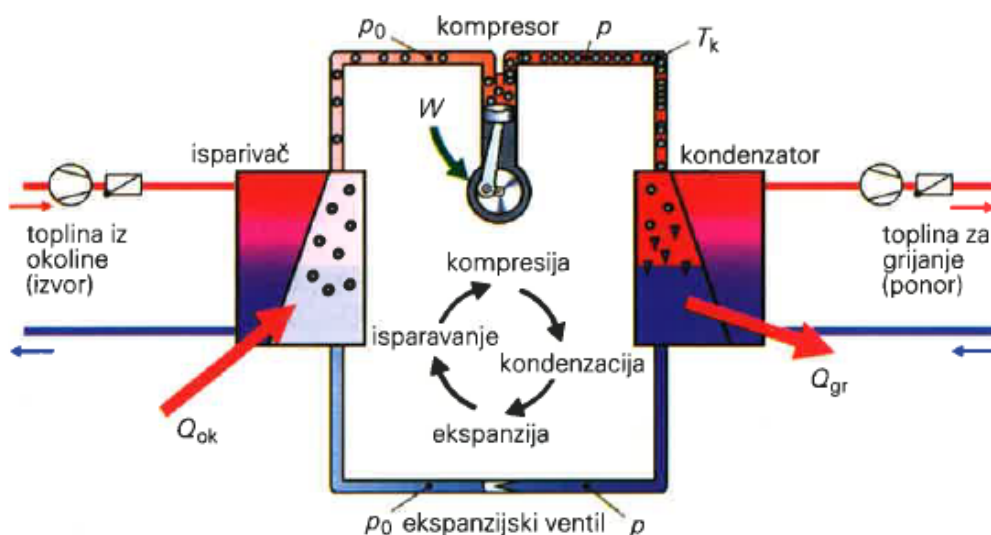
Energije morskih struja ovise o količini vode, njenoj brzini i valovima. Promjenjivost morskih struja znatno je manja kod velikih morskih struja pa je njihova iskoristivost veća. Istraživanje tehničkih rješenja većih postrojenja ovog tipa je trenutno u fazi probnog rada na Japanskoj struji.

Energija morskih valova potiče od strujanja vjetra uz površinu mora. Morski valovi sadrže potencijalnu energiju deformacije morske razine i kinetičku energiju nastalu gibanjem mora. Energija morskih valova može se koristiti na tri načina: plutačom, pomičnim klipom i njihalicama.

### 3. DIZALICE TOPLINE

Dizalica topline je uređaj koji omogućava prijenos toplinske energije iz toplinskog spremnika niže temperature razine u toplinski spremnik više temperature razine korištenjem dodatne energije pomoću lijevokretnog kružnog procesa, u kojem sudjeluje prikladna radna tvar [6]. Niskotemperaturni toplinski spremnik (toplinski izvor) je prostor ili medij kojemu se toplina oduzima. Visokotemperaturni toplinski spremnik (toplinski ponor) je prostor ili medij kojemu se toplina predaje. Prema osnovnom načelu rada, dizalice topline se mogu podijeliti na kompresijske i sorpcijske, pri čemu je proces rada kompresijske dizalice topline omogućen utroškom mehaničkog rada a sorpcijske dovođenjem topline. Najrasprostranjenija je uporaba kompresijskih dizalica topline. Osnovni dijelovi jedne kompresijske dizalice topline su: isparivač, kompresor, kondenzator i ekspanzijski ventil. Radna tvar u isparivaču apsorbira toplinu toplinskog izvora uslijed čega iz kapljevite faze prelazi u parnu. Kompresor zatim parnu radnu tvar podiže na viši nivo tlaka i temperature da bi se omogućilo predavanje topline ogrjevnom mediju u kondenzatoru. Hlađenjem radne tvari dolazi do njezinog ukapljivanja. Ukapljenoj radnoj tvari ekspanzijski ventil smanjuje tlak i temperaturu te ona ponovno ide na isparivanje, čime je kružni proces zatvoren. Najčešće korištene radne tvari u dizalicama topline su halogenirani ugljikovodici. Ako se dizalica topline koristi za hlađenje, princip rada je isti, samo su uloge izvora zamijenjene – izvor postaje ponor i obratno, slijedom toga uloge izmjenjivača topline (isparivača i kondenzatora) se također zamjenjuju.

Načelo rada dizalice topline u sustavu grijanja prikazano je slikom 3.1.



Slika 3.1. Načelo rada dizalice topline [4]

Za prijenos topline s toplinskog spremnika na nižoj do toplinskog spremnika na višoj temperaturi dovedena je električna energija potrebna za pogon kompresora. Ovakve dizalice topline uglavnom se koriste za grijanje prostora i pripremu potrošne tople vode. Toplinski izvori mogu biti prirodni i rekuperirani. Prirodni toplinski izvori su zrak, tlo i voda, a rekuperirani su npr. odsisni zrak iz kondicioniranog prostora, otpadna voda i sl.

Učinkovitost dizalice topline određuje se faktorom grijanja (engl. *Coefficient of Performance*, COP), koji je definiran izrazom (3.3):

$$\varepsilon_{gr} = \frac{Q_{gr}}{W_{el}} \quad (3.3)$$

gdje je:

$Q_{gr}$  – dobivena korisna toplina na kondenzatoru, J

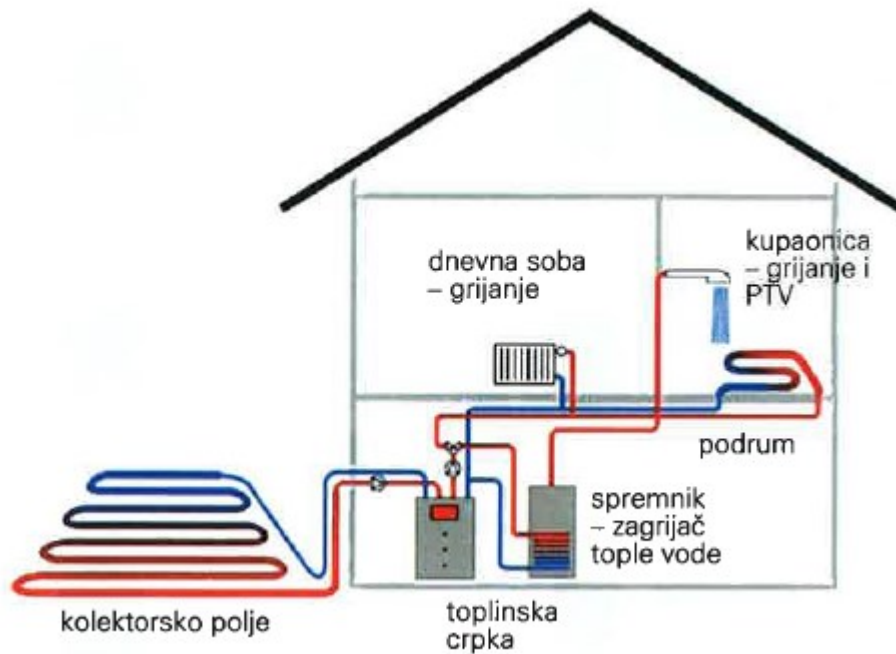
$W_{el}$  – pogonska energija kompresora, J.

Stvarna učinkovitost dizalice topline u duljem periodu rada izražena je sezonskim faktorom grijanja (SCOP), koji, osim pogonske energije kompresora, uzima u obzir i energiju utrošenu na rad cirkulacijske pumpe, ventilatora i odleđivanje isparivača.

### 3.1. Dizalice topline tlo - voda

Toplinski izvor za dizalice topline tlo – voda su površinski slojevi tla u kojima je temperatura relativno konstantna tijekom godine. Najčešće korišteni radni medij u ovim sustavima je rasolina, tj. smjesa etilen-glikola ili propilen-glikola i vode. Izmjenjivač topline između radnog medija i tla može biti postavljen horizontalno (kolektorsko polje) ili vertikalno (toplinske sonde). Za kolektorska polja potrebne su veće raspoložive površine tla u koje se mogu položiti cijevi izmjenjivača, stoga se ovakvi sustavi uglavnom koriste u ruralnim područjima. Toplinske sonde prikladnije su za urbanija područja u kojima su slobodne površine ograničene.





Slika 3.2. Shema dizalice topline s kolektorskim poljem [4]

### 3.2. Dizalice topline voda – voda

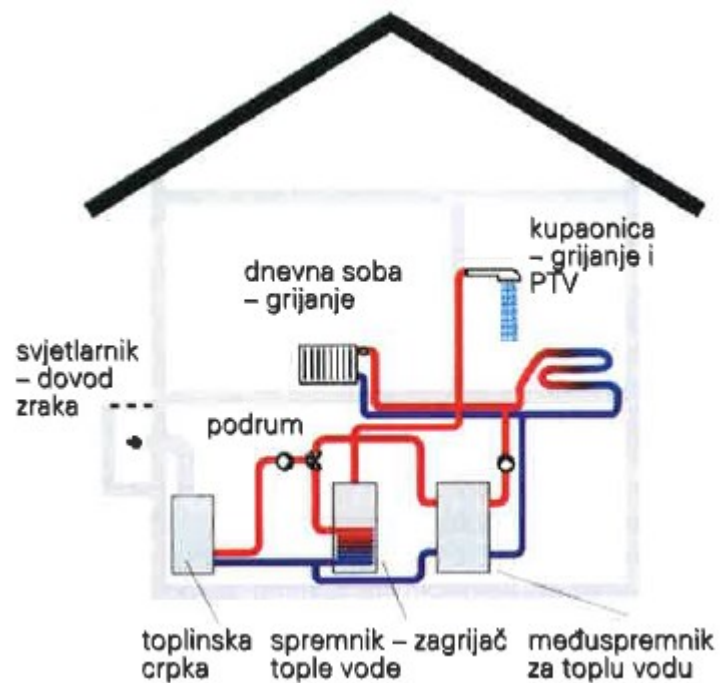
Toplinski izvor za dizalice topline voda – voda mogu biti podzemne ili površinske vode te more. Glavni uvjet za korištenje ovih sustava je raspoloživost toplinskog izvora u velikim količinama. Princip rada dizalice topline voda – voda je da se iz jedne bušotine crpi voda koja na isparivaču svoju toplinu predaje radnoj tvari te se ohlađena vraća toplinskom izvoru kroz drugu bušotinu ili ispušta u površinske vode. Udaljenost između dvije bušotine mora biti veća od 10 m.



Slika 3.3. Shema dizalice topline za iskorištavanje topline podzemnih voda [2]

### 3.3. Dizalice topline zrak – voda

Toplinski izvor za dizalice topline zrak – voda je okolni zrak. Ove se dizalice topline izvode u kompaktnoj (monoblok) i razdvojenoj (split) izvedbi. Monoblok izvedba je kompaktna, što znači da se cjelokupan proces radnog medija (freona) i predaja topline ogrjevnom mediju sustava grijanja vrše u vanjskoj jedinici. Split izvedba sadrži vanjsku i unutarnju jedinicu, pri čemu se toplina radnog medija dizalice topline predaje ogrjevnom mediju sustava grijanja u unutarnjoj jedinici. Monoblok izvedba koristi se na objektima u kojima nema prostora za unutarnju jedinicu, a udaljenost od vanjske jedinice do sustava grijanja je mala te je moguće dobro izolirati cjevovod od jedinice do ulaza u objekt. Učinkovitost dizalica topline koje koriste zrak kao toplinski izvor ovisi o promjenjivosti temperature okoliša, stoga se ovakvi sustavi zbog ekonomičnosti nikada ne dimenzioniraju na maksimalno toplinsko opterećenje.



Slika 3.4. Shema dizalice topline za iskorištavanje topline okolnog zraka [4]

## 4. OPIS PREDMETNOG KOMPLEKSA

Predmetni kompleks je obrazovni centar u Tkonu, na otoku Pašmanu. Kompleks se sastoji od višenamjenske Glavne zgrade i Depandanse. Glavna zgrada sastoji se od instalacijskog šahta, podruma s bazenom, prizemlja u kojem se nalazi restoran te dva kata na kojima su predviđeni smještajni kapaciteti i učionice. Depandansa se sastoji od prizemlja i dva kata, a namijenjena je isključivo kao smještajni objekt uz glavnu zgradu. Građevni elementi kompleksa dani su u arhitektonskim podlogama, koje su sastavni dio ovoga zadatka. Strojarnica kompleksa smještena je u podrumu glavne zgrade.



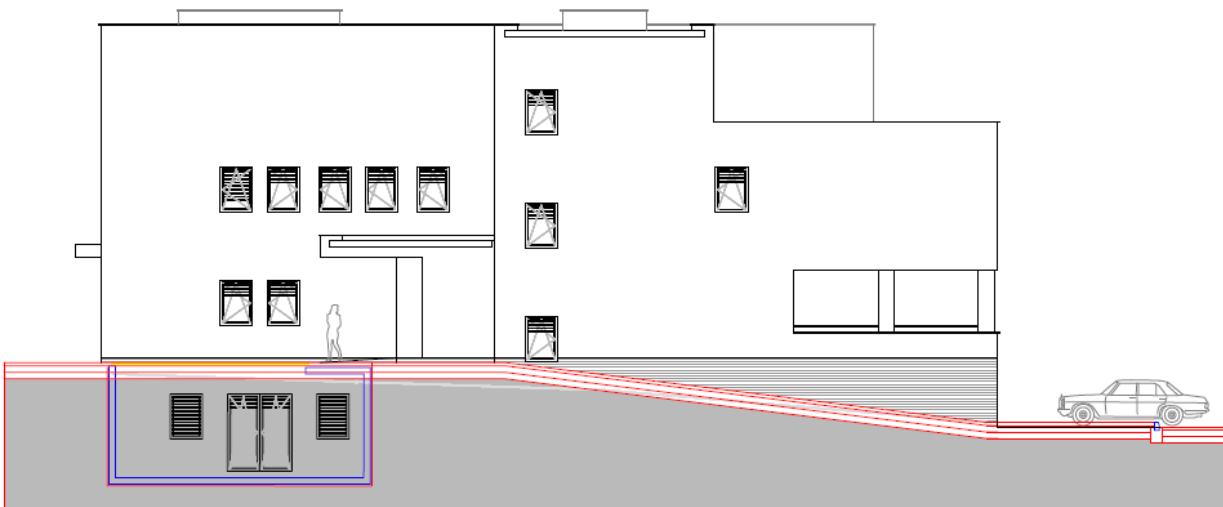
*Slika 4.1. Sjeveroistočno pročelje glavne zgrade*



*Slika 4.2. Sjeverozapadno pročelje glavne zgrade*



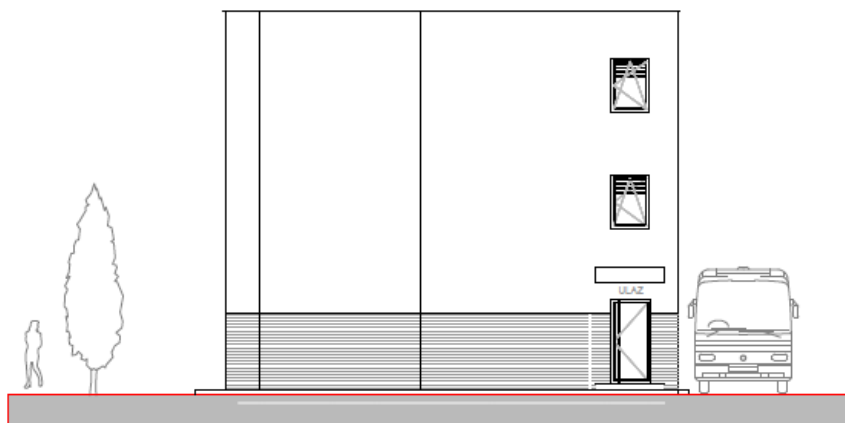
*Slika 4.3. Jugozapadno pročelje glavne zgrade*



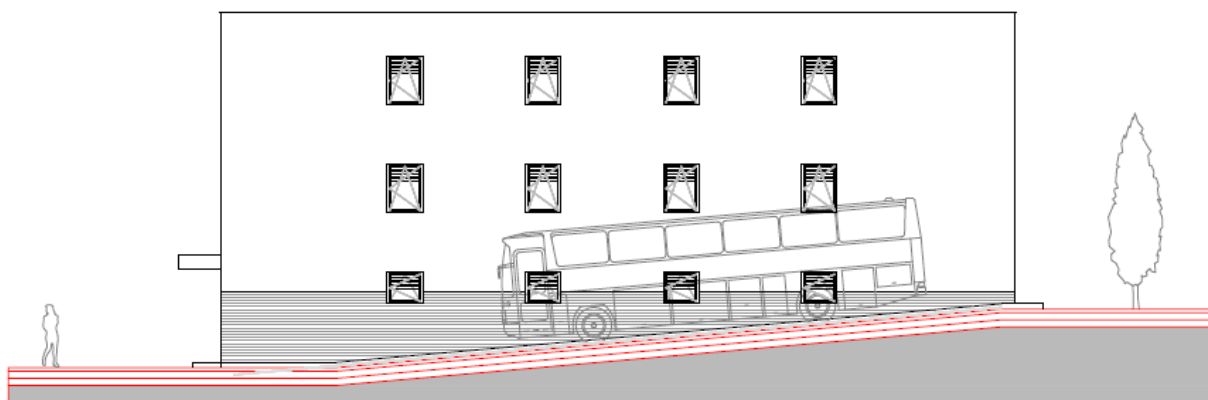
*Slika 4.4. Jugoistočno pročelje glavne zgrade*



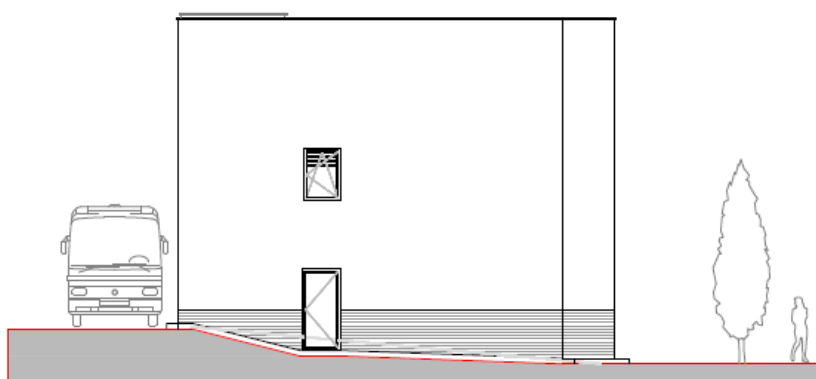
*Slika 4.5. Istočno pročelje depandanse*



*Slika 4.6. Sjeverno pročelje depandanse*



*Slika 4.7. Zapadno pročelje depandanse*



*Slika 4.8. Južno pročelje depandanse*

## 5. PRORAČUNI POTREBNE TOPLINE

### 5.1. Proračun potrebne topline za zagrijavanje bazena

U podrumu glavne, višenamjenske zgrade nalazi se rekreacijski bazen dimenzija 13 x 5,2 m, prosječne dubine 1,3 m. Za potrebe određivanja energije potrebne za zagrijavanje bazenske vode pretpostavljena je projektna temperatura vode od 26 °C. Projektna temperatura zraka u bazenskoj prostoriji je 28 °C a relativna vlažnost 60 %. Bazenska školjka nalazi se u etaži instalacijskog šahta koja se proteže ispod podruma objekta i služi kao instalacijski šaht prosječne visine 1,7 m i temperature 5 °C.

Toplina potrebna za zagrijavanje bazenske vode uvelike ovisi o vrsti građevnih materijala i korištene dodatne opreme bazena, primjerice dodatnom izolacijom školjke bazena s vanjske strane i korištenjem toplinske pokrivke van radnog vremena; stoga je u praksi uvijek potrebno izvedeno stanje usporediti s pretpostavljenim projektnim podlogama. Voda u bazenu koji je predmet ovoga rada zagrijavati će se odabranim centralnim sustavom grijanja PTV-a i bazenske vode. Osnovni toplinski gubitci bazena su ishlapljivanje bazenske vode, provođenje topline kroz školjku te dodavanje svježje vode.

#### 5.1.1. Ishlapljivanje vode

Ishlapljivanje vode u zatvorenim bazenima ima puno manji udio u ukupnim gubitcima topline u odnosu na otvorene bazene, jer je razlika temperature između vode i zraka relativno mala i relativno konstantna, a vlažnost zraka nije ovisna o vanjskim atmosferskim uvjetima. Kod zatvorenih bazena koji su stalno u upotrebi, kao primjerice u hotelima, lječilištima ili sportskim centrima, balansiranim sustavom grijanja, ventilacije i odvlaživanja bazenske prostorije može se minimizirati gubitak topline putem ishlapljivanja. Proračun ishlapljivanja bazenske vode za ovaj rad izvršen je prema smjernici VDI 2089.

Količina ishlapljene vode računa se prema izrazu (5.1) kako slijedi:

$$W = \frac{\varepsilon \cdot (p_s - p_d) \cdot A_{\text{baz}}}{3600} \quad (5.1)$$

gdje je:

$W$  – količina ishlapljene vode, kg/s

$\varepsilon$  – koeficijent ishlapljivanja,  $\varepsilon = 20 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h})$  za vodu s umjerenim pokretanjem [7]

$p_s$  - tlak zasićenja vodene pare,  $p_s = 3\,360 \text{ Pa}$

$p_d$  - parcijalni tlak vodene pare,  $p_d = 2\,270 \text{ Pa}$

$A_{\text{baz}}$  – površina bazena,  $A_{\text{baz}} = 67,6 \text{ m}^2$ .

Toplinski tok odveden ishlapljivanjem tada je:

$$\phi_{\sigma} = W \cdot r \quad (5.2)$$

gdje je:

$\phi_{\sigma}$  – toplinski tok odveden ishlapljivanjem, kW

$r$  – toplina potrebna za ishlapljivanje vode,  $r = 2439 \text{ kJ}/\text{kg}$ .

Prema proračunu provedenom u programu MS Office Excel, količina ishlapljene vode iznosi 0,00409 kg/s, te je njome odveden toplinski tok od 9,98 kW.

### 5.1.2. Provođenje topline kroz oplošje bazena

Toplinski gubici provođenja kroz školjku bazena nastaju zbog razlike temperature u bazenu (temperature bazenske vode) i temperature prostorije u kojoj se ta školjka nalazi. Za koeficijent prolaza topline se koristi podatak dobiven u sklopu arhitektonskih podloga projekta.

Toplinski tok odveden provođenjem kroz školjku bazena računa se kao:

$$\phi_T = k_{\text{baz}} \cdot A_{\text{opl}} \cdot (\vartheta_{\text{baz}} - \vartheta_p) \quad (5.3)$$

Gdje je:

$\phi_T$  – toplinski tok odveden provođenjem, kW

$k_{\text{baz}}$  – koeficijent prolaza topline,  $k_{\text{baz}} = 1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

$A_{\text{opl}}$  – oplošje bazena,  $A_{\text{opl}} = 114,92 \text{ m}^2$

$\vartheta_{\text{baz}}$  - temperatura bazenske vode,  $\vartheta_{\text{baz}} = 26 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$\vartheta_p$  – pretpostavljena temperatura prostorije ispod bazena,  $\vartheta_p = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Izračunati toplinski tok uslijed provođenja topline kroz školjku bazena iznosi 2,41 kW.

### 5.1.3. Dodavanje svježe vode

Dodavanje svježe vode u bazen potrebno je iz dva osnovna razloga. Prvi je samo korištenje bazena od strane kupača, čime se stvaraju mini valovi na površini te se voda prelijeva preko rubova bazena, a drugi je potreba obrade vode da bi zadovoljila higijenske standarde, što znači da se dio onečišćene bazenske vode zamjenjuje svježom vodom. U bazen se pretpostavlja dodavanje svježe vode iz vodovoda koju je potrebno zagrijati na temperaturu bazena.

Da bismo izračunali koju je količinu svježe vode potrebno dodati uslijed korištenja, potrebno je znati učestalost korištenja. S obzirom da cijeli kompleks ima smještajni kapacitet od 60 osoba i da je namijenjen i za razne vrste terenske nastave za osnovnu školu, pretpostavljeno je da će istovremeno u bazenu biti 25 osoba koje će po jednom ulasku provesti u bazenu prosječno 30 minuta. Prema DIN 19643 potrebno je u bazen dodati 30 litara svježe vode po korisniku u jednom danu. Za sve zadane podatke izračunato je da je potrebna količina svježe vode uslijed korištenja 0,208 kg/s.

Toplinski učin koji je potreban za zagrijavanje svježe vode na bazensku temperaturu iznosi:

$$\phi_{svj} = m_{svj} \cdot c_{pv} \cdot (\vartheta_{baz} - \vartheta_{svj}) \quad (5.4)$$

gdje je:

$\phi_{svj}$  – potrebnii toplinski učin, kW

$m_{svj}$  – protok svježe vode, kg/s

$c_{pv}$  – specifični toplinski kapacitet vode,  $c_v = 4,187 \text{ kJ}/(\text{kgK})$  [5]

$\vartheta_{svj}$  – pretpostavljena temperatura svježe vode,  $\vartheta_{svj} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Toplinski učin zagrijavanja svježe vode na temperaturu bazena iznosi 13,96 kW.

#### 5.1.4. Rekapitulacija toplinske bilance bazena

Tablica 5.1. Toplinska bilanca bazena

Ishlapljivanje vode	9,98 kW
Provođenje kroz oplošje bazena	2,41 kW
Dodavanje svježje vode	13,96 kW
Ukupno	26,35 kW

Ukupna dnevna potrošnja toplinske energije je razlika sume svih toplinskih gubitaka i toplinskih dobitaka. S obzirom da za zatvoreni bazen nema dobitaka, ukupna dnevna potrošnja energije za zagrijavanje bazenske vode predmetnog bazena biti će suma izračunatih gubitaka pomnoženih sa vremenom njihova djelovanja. Toplinski gubici dodavanja svježje vode pojavljuju se u vremenu trajanja rada bazena, a toplinski gubitak provođenja topline kroz školjku i ishlapljivanja vode je konstantan.

Dnevna potrošnja topline za zagrijavanje bazena iznosi:

$$\phi_{\text{baz,d}} = (\phi_{\text{svj}}) \cdot t_{\text{rv}} + (\phi_{\sigma} + \phi_{\text{T}})\phi_{\text{T}} \cdot t_{\text{d}} \quad (5.5)$$

Gdje je:

$\phi_{\text{baz,d}}$  – dnevna potrošnja energije za grijanje bazena, kWh

$t_{\text{rv}}$  – radno vrijeme bazena,  $t_{\text{r}} = 12$  h

$t_{\text{d}}$  – broj sati u danu,  $t_{\text{d}} = 24$  h.

S obzirom da je pretpostavljeno da će kompleks biti otvoren tokom cijele godine, ukupna godišnja potrošnja topline za grijanje bazenske vode iznosi 169 732 kWh.

## 5.2. Proračun potrebne topline za zagrijavanje PTV-a

Za potrebe proračuna potrebne topline za zagrijavanje potrošne tople vode u kompleksu pretpostavljeno je da je smještajni kapacitet maksimalno ispunjen, planirana temperatura PTV-a je 45 °C, a temperatura hladne vode 10 °C.

Potrebna toplina za zagrijavanje PTV-a izračunava se prema izrazu (5.6) [4]:

$$Q_{PTV} = n \cdot m_{PTV,n} \cdot c_{PV} \cdot (\vartheta_{PTV} - \vartheta_{HV}) \quad (5.6)$$

gdje je:

$Q_{PTV}$  – toplina potrebna za zagrijavanje PTV-a, kWh

$n$  – broj korisnika,  $n = 60$

$m_{PTV,n}$  – dnevna potrošnja PTV-a po korisniku, l

$c_{PV}$  - specifični toplinski kapacitet vode,  $c_{PV} = 4,187$  kJ/(kgK)

$\vartheta_{PTV}$  - temperatura PTV-a,  $\vartheta_{PTV} = 45^{\circ}\text{C}$

$\vartheta_{HV}$  -temperatura hladne vode na ulazu u spremnik, °C.

Dnevna potrošnja PTV-a od 50 litara po korisniku pretpostavljena je prema tablici 5.2.

Tablica 5.2. Smjernice za određivanje specifične potrebe PTV-a [9]

Namjena		Specifične potrebe za PTV-om (l/d)		Izražavanje potrošnje
		$\vartheta_{PTV,d} = 45^{\circ}\text{C}$	$\vartheta_{PTV,d} = 55^{\circ}\text{C}$	
Prosječna potrošnja u kućanstvu	Mala potrošnja	25 – 35	19 – 27	po osobi
	Srednja potrošnja	35 – 65	27 – 50	po osobi
	Velika potrošnja	65 – 120	50 – 92	po osobi
javne zgrade	Dom za umirovljenike	55 - 75	42 - 58	po osobi
	Bolnice	50 - 65	38 - 50	po krevetu
	Studentski dom	40 - 60	31 - 46	po osobi
	Dječji dom	40	31	po osobi
	Škola	1 - 3	1 - 3	po osobi
ugostiteljski i turistički objekti	hoteli sa sobama s katom i tušem	170 - 260	131 - 200	po osobi
	hoteli sa sobama s katom	85 - 170	65 - 131	po osobi
	hoteli sa sobama s tušem	70 - 130	54 - 100	po osobi
	ostali hoteli	35 - 60	27 - 46	po osobi
	hosteli, domovi, pansioni	35 - 70	27 - 54	po osobi

Izračunata potrebna toplina za zagrijavanje potrošne tople vode iznosi 122,12 kWh.

### 5.3. Proračun spremnika PTV-a

Proračun spremnika potrošne tople vode izveden je prema smjernicama proizvođača opreme Viessmann.

Potreban volumen spremnika PTV-a određen je jednadžbom:

$$V_S = \frac{860 \cdot \sum(n_{i,ptv} \cdot Q_{n,max}) \cdot \varphi_n \cdot \varphi_2 \cdot Z_A}{(Z_A + Z_B) \cdot (\vartheta_A - \vartheta_{HV}) \cdot a} \quad (5.7)$$

Gdje je:

$V_S$  – potreban volumen spremnika topline, l

$n_{i,ptv}$  – broj mjesta s istim zahtjevom potrošnje

$Q_{n,max}$  – toplina potrebna za zagrijavanje PTV-a na određenom mjestu potrošnje, kWh

$\varphi_n$  – faktor istovremenosti korištenja mjesta s istim zahtjevom potrošnje (soba),  $\varphi_n = 1$  za <15  
[10]

$\varphi_2$  – faktor načina života (kategorije hotela),  $\varphi_2 = 1,1$  [10]

$Z_A$  – vrijeme zagrijavanja,  $Z_A = 2$  h

$Z_B$  – trajanje najveće potrebe tople vode,  $Z_B = 2$  h

$\vartheta_A$  – akumulacijska temperatura spremnika,  $\vartheta_A = 60$  °C

$\vartheta_{HV}$  – temperatura dotoka hladne vode,  $\vartheta_{HV} = 10$  °C

$a$  – koeficijent napunjenosti spremnika,  $a = 0,8$

Za proračun potrebnog volumena spremnika koristi se potrebna toplina za zagrijavanje proračunata u prethodnom poglavlju, umjesto proračuna po mjestu potrošnje.

Potreban volumen spremnika za PTV iznosi:

$$V_S = \frac{860 \cdot 122,1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 2}{(2+2) \cdot (60-10) \cdot 0,8} = 1444 \text{ l}$$

Potrebno je odabrati spremnik prve veće dimenzije. Odabran je multifunkcionalni spremnik proizvođača Vaillant nazivne zapremine 1505 l.

Potreban učin za zagrijavanje PTV-a [4]:

$$Q_{GR,PTV} = \frac{V_s \cdot c_{pv} \cdot (\vartheta_a - \vartheta_e)}{Z_A} \quad (5.8)$$

$$Q_{GR,PTV} = \frac{1505 \cdot 4,187 \cdot (60-10)}{3600 \cdot 2} = 43,7 \text{ kW}$$

S obzirom da količina potrošne tople vode nije varijabilna veličina ovisno o generatoru topline, u idejnim rješenjima pripreme potrošne tople i bazenske vode koji ne uključuju dodatne generatore (solarne sustave) računa se s navedenim rezultatima.

#### 5.4. Proračun sunčanih toplinskih kolektora

Za idejna rješenja sustava koji koriste sunčane kolektore kao pomoćni sustav zagrijavanja potrošne tople i bazenske vode odabrani su pločasti kolektori proizvođača Viessmann prikladni za postavljanje u primorske regije. Za odabrani kolektor stupanj djelovanja se izračunava prema izrazu (5.9) [11]:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 \cdot \Delta\vartheta}{\dot{G}} - \frac{k_2 \cdot \Delta\vartheta^2}{\dot{G}} \quad (5.9)$$

gdje je:

$\eta$  – stupanj djelovanja kolektora

$\eta_0$  – optički stupanj učina,  $\eta_0 = 0,827$  [11]

$k_1, k_2$  – koeficijenti gubitaka topline sa kolektora u njegovu okolinu uslijed provođenja, zračenja i konvekcije kolektora,  $k_1 = 3,721 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $k_2 = 0,019 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$  [11]

$\Delta\vartheta$  – razlika temperature između srednje temperature kolektora i temperature okolnog zraka

$\dot{G}$  – intenzitet sunčeva zračenja,  $\text{W}/\text{m}^2$

$$\dot{G} = \frac{G}{t}, \text{ W}/\text{m}^2 \quad (5.10)$$

gdje je:

$G$  – dnevno dozračena energija na površinu kolektora, Wh/m<sup>2</sup>

$t$  – vrijeme efektivnog sisanja Sunca, h.

Kolektore sunčanog sustava predviđeno je postaviti na ravni krov glavne višenamjenske zgrade u smjeru juga pod nagibom od 30°. Prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama meteorološke podatke za mjerodavne meteorološke postaje objavljuje Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine [12]. Za potrebe proračuna korišteni su podatci objavljeni na stranicama Ministarstva za najbližu meteorološku postaju Zadar. Vrijeme efektivnog trajanja sisanja Sunca preuzeto je iz podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda [13].

Potrebna površina kolektora za zadane podatke izračunava se kao:

$$A_{\text{kol}} = \frac{Q_{\text{PTV}}}{\eta \cdot G}, \text{ m}^2 \quad (5.11)$$

Mjesečni izračun stupnja djelovanja kolektora i potrebnih površina proveden u programu MS Office Excel prikazan je tablicama 5.3 i 5.4.

Tablica 5.3. Proračun potrebne površine sunčanih kolektora za PTV

Mjesec	Broj dana	Temperatura zraka	Vrijeme efektivnog osunčanja po danu	Temperaturna razlika	Dnevno dozirana energija	Stupanj djelovanja kolektora	Potrebna površina kolektora
		$\vartheta_{zr}$ (°C)	$t_{s,d}$ (h / d)	$\Delta\vartheta$ (°C)	$G$ (Wh/m <sup>2</sup> )	$\eta$	$A_{kol}$ (m <sup>2</sup> )
I	31,0	7,5	3,8	37,5	2366	0,56	92,2
II	28,0	7,5	5,0	37,5	3561	0,59	57,8
III	31,0	10,1	6,3	34,9	4525	0,61	44,0
IV	30,0	13,5	7,4	31,5	5269	0,64	36,5
V	31,0	18,4	9,3	26,6	5941	0,65	31,6
VI	30,0	22,3	10,8	22,7	6407	0,67	28,5
VII	31,0	24,8	11,9	20,2	6514	0,68	27,8
VIII	31,0	24,5	10,8	20,5	6057	0,68	29,8
IX	30,0	20,1	8,2	24,9	5296	0,67	34,7
X	31,0	16,4	6,0	28,6	4373	0,66	42,3
XI	30,0	12,2	3,8	32,8	2741	0,63	70,8
XII	31,0	8,6	3,6	36,4	1846	0,51	128,8

Tablica 5.4. Proračun potrebne površine sunčanih kolektora za bazen

Mjesec	Broj dana	Temperatura zraka	Vrijeme efektivnog osunčanja po danu	Temperaturna razlika	Dnevno dozirana energija	Stupanj djelovanja kolektora	Potrebna površina kolektora
		$\vartheta_{zr}$ (°C)	$t_{s,d}$ (h / d)	$\Delta\vartheta$ (°C)	$G$ (Wh/m <sup>2</sup> )	$\eta$	$A_{kol}$ (m <sup>2</sup> )
I	31,0	7,5	3,8	42,5	2366	0,52	379,6
II	28,0	7,5	5,0	18,5	3561	0,72	181,0
III	31,0	10,1	6,3	15,9	4525	0,74	139,3
IV	30,0	13,5	7,4	12,5	5269	0,76	116,5
V	31,0	18,4	9,3	7,6	5941	0,78	100,2
VI	30,0	22,3	10,8	3,7	6407	0,80	90,3
VII	31,0	24,8	11,9	1,2	6514	0,82	87,2
VIII	31,0	24,5	10,8	1,5	6057	0,82	94,0
IX	30,0	20,1	8,2	5,9	5296	0,79	110,9
X	31,0	16,4	6,0	9,6	4373	0,78	137,1
XI	30,0	12,2	3,8	13,8	2741	0,75	226,0
XII	31,0	8,6	3,6	17,4	1846	0,69	365,4

Prema danom izračunu vidljivo je da se najveća količina sunčeve energije dozračuje u mjesecu srpnju, stoga je prema potrebnoj površini kolektora proračunata pokrivenost potrebne energije solarnim sustavom ako bi se usvojile minimalne potrebne vrijednosti površine kolektora.

Potrebna toplina za zagrijavanje PTV-a iznosi, kako je prethodno izračunato, 122,12 kWh.

Iskorištena toplina sunčeva zračenja izračunava se prema izrazu (5.12):

$$Q_{isk} = G \cdot A_{kol} \cdot \eta \quad (5.12)$$

Tablicama 5.5 i 5.6 dan je mjesečni pregled iskorištene topline sunčeva zračenja i pokrivenosti potrebne energije za sustav zagrijavanja potrošne tople i bazenske vode.

*Tablica 5.5. Pokrivenost potrebne energije za PTV*

Mjesec	Broj dana	Potrebna toplina za ptv	Dnevno dozračena energija	Stupanj djelovanja kolektora	Iskorištena toplina	Pokrivenost potrebe energije
		kWh	G (kWh/m <sup>2</sup> )	η	Q <sub>isk</sub> (kWh)	
I	31,0	122,12	2,366	0,56	36,76	0,30
II	28,0	122,12	3,561	0,59	58,66	0,48
III	31,0	122,12	4,525	0,61	77,10	0,63
IV	30,0	122,12	5,269	0,64	92,97	0,76
V	31,0	122,12	5,941	0,65	107,32	0,88
VI	30,0	122,12	6,407	0,67	118,80	0,97
VII	31,0	122,12	6,514	0,68	122,12	1,00
VIII	31,0	122,12	6,057	0,68	113,76	0,93
IX	30,0	122,12	5,296	0,67	97,78	0,80
X	31,0	122,12	4,373	0,66	80,04	0,66
XI	30,0	122,12	2,741	0,63	47,87	0,39
XII	31,0	122,12	1,846	0,51	26,32	0,22



Tablica 5.6. Pokrivenost potrebne energije za bazen

Mjesec	Broj dana	Potrebna toplina za bazen	Dnevno dozračena energija	Stupanj djelovanja kolektora	Iskorištena toplina	Pokrivenost potrebe energije
		kWh	G (kWh/m <sup>2</sup> )	$\eta$	$Q_{isk}$ (kWh)	
I	31,0	465,02	2,3655	0,52	106,79	0,23
II	28,0	465,02	3,5614	0,72	223,93	0,48
III	31,0	465,02	4,525	0,74	291,12	0,63
IV	30,0	465,02	5,2685	0,76	347,94	0,75
V	31,0	465,02	5,9407	0,78	404,51	0,87
VI	30,0	465,02	6,4073	0,80	448,76	0,97
VII	31,0	465,02	6,5143	0,82	465,02	1,00
VIII	31,0	465,02	6,0574	0,82	431,44	0,93
IX	30,0	465,02	5,2963	0,79	365,70	0,79
X	31,0	465,02	4,3726	0,78	295,66	0,64
XI	30,0	465,02	2,7407	0,75	179,39	0,39
XII	31,0	465,02	1,8459	0,69	110,96	0,24

### 5.5. Proračun spremnika za zagrijavanje PTV-a sunčanim kolektorima

Prilikom dimenzioniranja spremnika mora se osigurati da je on u mogućnosti preuzeti svu toplinsku energiju od radnog medija sunčevog sustava, što znači da je spremnik potrebno dimenzionirati za srpanj. Volumen spremnika potrošne tople vode za idejna rješenja koja sadrže sunčev sustav računa se po principu dnevne raspodjele akumulirane energije unutar spremnika.

Energija akumulirana u spremniku računa se prema izrazu (5.13), a njena je mjesečna raspodjela prikazana tablicom 5.8:

$$\Delta Q = Q_{\max} - Q_{PTV} + Q_{isk} \quad (5.13)$$

gdje je:

$Q_{\max}$  – maksimalna akumulirana energija u prethodnom satu, kWh

$Q_{PTV}$  – potrebna toplina za zagrijavanje PTV-a, kWh

$Q_{isk}$  – iskorištena toplina sunčeva zračenja, kWh.

Tablica 5.7. Akumulirana toplina spremnika PTV-a

Sat	Potrošnja vode	Raspodjela potrošnje	Potrebna toplina za grijanje vode	Raspodjela sunčeva zračenja	Intenzitet sunčeva zračenja	Iskorištena toplina	Napunjenost spremnika
	$M$ (l)	%	$Q_{PTV}$ (kWh)	%	$G$ (kWh/m <sup>2</sup> )	$Q_{isk}$ (kWh)	$\Delta Q$ , kWh
1	0,00	0	0,000	0	0	0	0,000
2	0,00	0	0,000	0	0	0	0,000
3	0,00	0	0,000	0	0	0	0,000
4	0,00	0	0,000	0	0	0	0,000
5	0,00	0	0,000	0	0,0024	0,04	0,045
6	0,00	0	0,000	0	0,0679	1,27	1,318
7	0,00	0	0,000	0,06	0,1989	3,73	5,046
8	450,00	0,15	18,318	0,08	0,3613	6,77	-6,499
9	450,00	0,15	18,318	0,09	0,5289	9,91	-14,902
10	150,00	0,05	6,106	0,10	0,6888	12,91	-8,097
11	150,00	0,05	6,106	0,11	0,7870	14,75	0,550
12	60,00	0,02	2,442	0,11	0,8210	15,39	13,498
13	60,00	0,02	2,442	0,10	0,7971	14,94	25,998
14	60,00	0,02	2,442	0,09	0,7348	13,77	37,329
15	60,00	0,02	2,442	0,08	0,5987	11,22	46,110
16	60,00	0,02	2,442	0,06	0,4749	8,90	52,570
17	150,00	0,05	6,106	0,04	0,3040	5,70	52,162
18	240,00	0,08	9,770	0,02	0,1246	2,34	44,729
19	240,00	0,08	9,770	0	0,0240	0,45	35,409
20	240,00	0,08	9,770	0	0	0	25,639
21	210,00	0,07	8,548	0	0	0	17,091
22	210,00	0,07	8,548	0	0	0	8,542
23	210,00	0,07	8,548	0	0	0	-0,006
24	0,00	0	0,000	0	0	0	-0,006
$\Sigma$	<b>3000</b>	<b>1</b>	<b>122,12</b>		<b>6,514</b>	<b>122,11</b>	<b>67,472</b>

Potreban volumen spremnika sunčanog sustava zagrijavanja izračunava se prema (5.14):

$$V_{S,kol} = \frac{\Delta Q}{c_{pv} \cdot (\vartheta_S - \vartheta_{HV})} \quad (5.14)$$

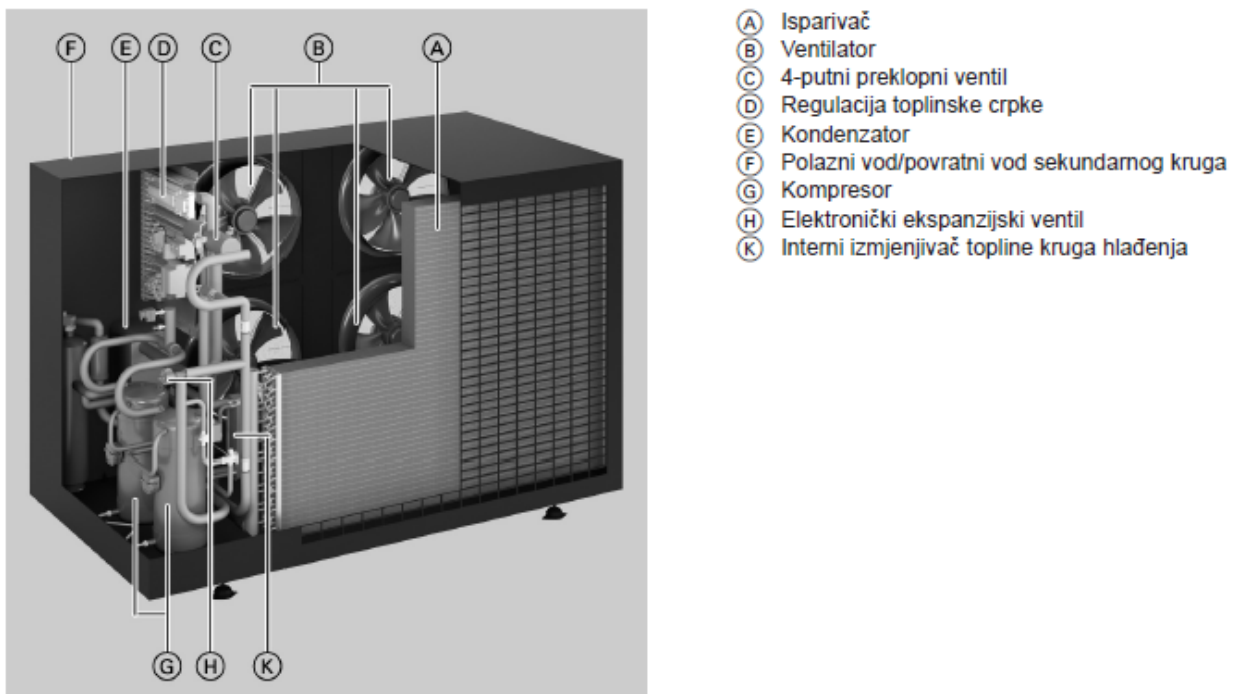
Za zadani sustav potreban je spremnik minimalnog volumena od 1 660 l.

## 6. OPIS IDEJNIH RJEŠENJA

### 6.1. Dizalica topline zrak - voda

Prvo i najjednostavnije razmatrano idejno rješenje sustava za zagrijavanje potrošne i bazenske vode je dizalica topline zrak - voda bez dodatnog sustava grijanja.

Potrebna snaga dizalice topline je takva da može pokriti potreban učin za zagrijavanje PTV-a od 43,75 kW i potreban učin za zagrijavanje bazenske vode od 26,35 kW. Dizalica topline za ovo rješenje odabrana je od proizvođača Viessman, tip: Vitocal 200-A PRO, ukupnog učina na zagrijavanju tople vode 89,8 kW. Odabrana monoblok dizalica topline kompaktnih je dimenzija, namijenjena za vanjsku ugradnju a njene se komponente i osnovni podatci vide na slikama 6.1 i 6.2.



Slika 6.1. Presjek dizalice topline zrak-voda [14]

Tip AWO-AC		201.A032	202.A064	204.A128
<b>Podaci o učinku grijanja prema EN 14511 (A2/W35)</b>				
Nazivni toplinski učin	kW	28,10	56,20	112,40
Primljena električna snaga	kW	7,20	14,06	27,77
Učinski koeficijent ε (COP)		3,90	4,00	4,05
<b>Podaci o učinku grijanja prema EN 14511 (A7/W35)</b>				
Nazivni toplinski učin	kW	32,20	64,40	128,70
Primljena električna snaga	kW	7,31	14,27	28,18
Učinski koeficijent ε (COP)		4,40	4,51	4,57
<b>Podaci o učinku grijanja prema EN 14511 (A-7/W35)</b>				
Nazivni toplinski učin	kW	22,10	44,10	88,20
Primljena električna snaga	kW	7,01	13,69	27,04
Učinski koeficijent ε (COP)		3,15	3,22	3,26
<b>Podaci o učinku grijanja za zagrijavanje pitke vode prema EN 14511 (A20/W65)</b>				
Nazivni toplinski učin	kW	44,90	89,80	179,60
Primljena električna snaga	kW	14,56	28,40	56,20
Učinski koeficijent ε (COP)		3,08	3,16	3,20
<b>Podaci o učinku hlađenja prema EN 14511 (A35/W7)</b>				
Nazivni rashladni učin	kW	29,23	58,46	116,92
Primljena električna snaga	kW	9,71	18,97	37,47
EER kod pogona hlađenja		3,01	3,08	3,12

Slika 6.2. Tehnički podaci za dizalicu topline zrak-voda [14]

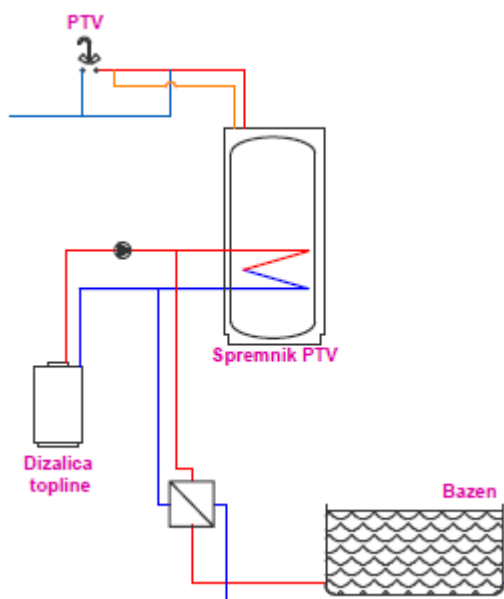
Odabrana dizalica radi za temperature zraka od -20 °C u zimskom odnosno 35 °C u ljetnom periodu, za radnu tvar koristi R407C a za niske temperaturne uvjete postiže sezonski faktor učina od 3,88.

Odabrani spremnik proizvođača Vaillant, tip allSTOR exclusive VPS 2000 nazivne zapremine 1505 l, namijenjen je za zagrijavanje ogrjevnice vode putem jednog ili više generatora topline. Ukoliko se koristi za zagrijavanje potrošne tople vode, potrebno je uz njega koristiti podstanicu za PTV aquaFLOW exclusive koja je predviđena za postavljanje na spremnik ili na zid. Na slikama 6.3 i 6.4 dan je prikaz spremnika i njegovi tehnički podaci.



Slika 6.3. Multifunkcionalni spremnik za PTV [15]

Na slici 6.5 prikazana je opća shema sustava dizalice topline zrak – voda koja se koristi za zagrijavanje potrošne tople i bazenske vode.



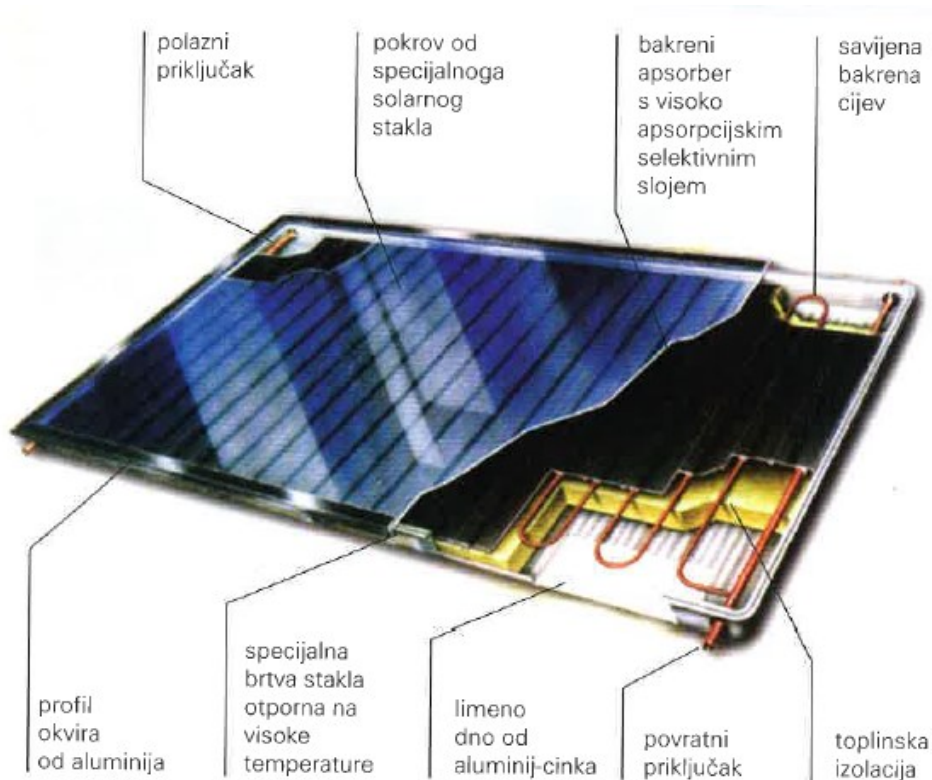
Slika 6.4. Shema sustava dizalice topline zrak – voda

## 6.2. Dizalica topline zrak – voda sa sunčanim kolektorima

Drugo razmatrano idejno rješenje sustava za zagrijavanje potrošne i bazenske vode je dizalica topline zrak - voda s dodatnim sustavom sunčanih kolektora.

S obzirom da sunčani kolektori pokrivaju minimalno 20 % potrebne energije za ovo rješenje bilo bi teoretski moguće odabrati dizalicu topline manjeg učina, ali zbog osiguranja da u zimskom periodu na dane bez sijanja sunca dizalica topline može podnijeti maksimalno opterećenje zadržava se dizalica topline zrak – voda definirana u prethodnom poglavlju, ukupnog učina na zagrijavanju tople vode 89,8 kW.

Uz dizalicu topline odabrani su pločasti kolektori proizvođača Viessmann, tip Vitosol 200-F SVE. Ukupno potrebna površina kolektorskog polja je 91,94 m<sup>2</sup>. Kao što je vidljivo na slici 6.6 površina apsorbera odabranog tipa kolektora iznosi 2,32 m<sup>2</sup>, iz čega slijedi da je za ovaj sustav potrebno predvidjeti 40 kolektora. Sunčane kolektore predviđeno je postaviti na ravni krov glavne zgrade, usmjerene prema jugu i pod nagibom od 30°.



Slika 6.5. Presjek sunčanog kolektora [16]

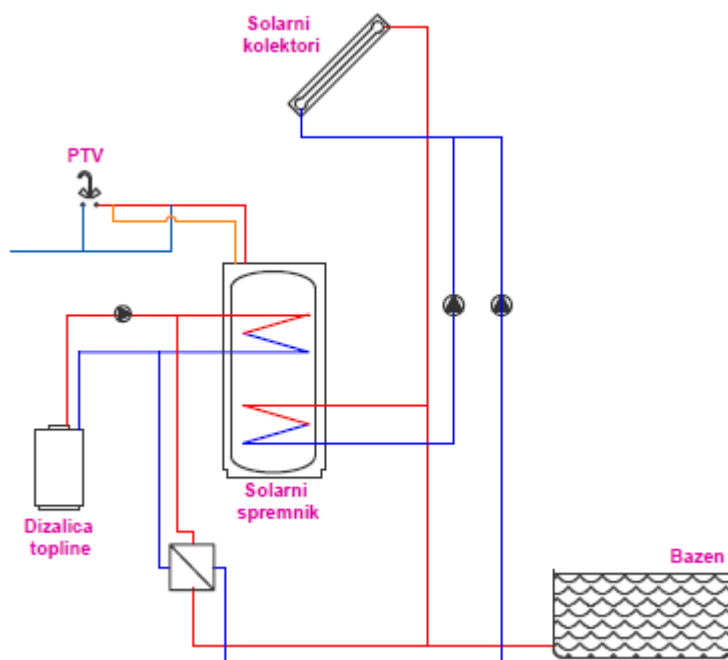
**Tehnički podatci**

Tip		SV1F	SH1F	SVE
<b>Bruto površina</b> (potrebno kod podnošenja zahtjeva za poticajna sredstva)	m <sup>2</sup>	2,51	2,51	2,50
<b>Površina apsorbera</b>	m <sup>2</sup>	2,31	2,31	2,32
<b>Aperturna površina</b>	m <sup>2</sup>	2,33	2,33	2,33
<b>Razmak između kolektora</b>	mm	21	21	21
<b>Dimenzije</b>				
Širina	mm	1056	2380	1056
Visina	mm	2380	1056	2380
Dubina	mm	73	73	72

Slika 6.6. Tehnički podatci sunčanog kolektora [16]

Potrebna veličina spremnika za PTV u kombinaciji sa sunčevim kolektorima je prema izrazu (5.13) 1 660 l. Odabire se multifunkcionalni spremnik Vaillant, tip allSTOR exclusive VPS 2000 nazivne zapremine 1 917 l. U slučaju korištenja istog spremnika sa sustavom sunčanih kolektora potrebno je uz spremnik koristiti solarnu postanicu auroFLOW exclusive VPM.

Na slici 6.8 prikazana je opća shema sustava dizalice topline zrak – voda koja koristi dodatni sustav sunčanih kolektora za zagrijavanje potrošne tople i bazenske vode.



Slika 6.7. Shema sustava dizalice topline zrak – voda sa sunčanim kolektorima

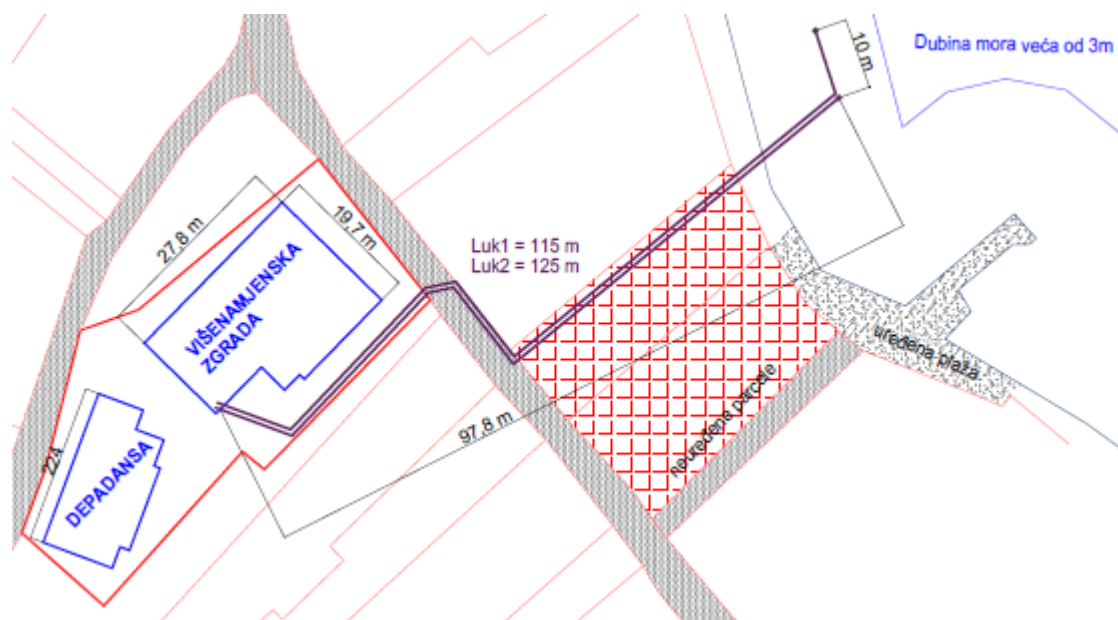
### 6.3. Dizalica topline voda - voda

Treće idejno rješenje je sustav u kojem potrebnu toplinu za grijanje PTV-a i zagrijavanje bazena daje dizalica topline voda – voda koja kao izvor topline koristi morsku vodu. Ovakvi sustavi mogu biti izvedeni na dva načina: zatvorenom i otvorenom. U zatvorenom sustavu zahvata vode, slično dizalicama topline koje kao izvor koriste tlo, kolektorsko polje polaže se na dno mora gdje je temperatura relativno konstantna. U otvorenom sustavu morska voda se s određene dubine pumpa prema izmjenjivaču topline te se ohlađena ispušta natrag u more [4]. U ovom idejnom rješenju primijenjen je sustav otvorenog tipa.

Da bi more bilo prihvatljiv izvor topline za dizalicu topline temperatura morske vode mora biti iznad 4 °C, a prosječna temperatura vanjskog zraka iznad 0 °C. Projektna lokacija zadovoljava oba uvjeta, stoga je ovaj sustav uzet kao jedno od mogućih rješenja projektnog zadatka. Temperature zraka prikazane su u poglavlju 5.4 ovoga rada, a temperature mora u tablici 6.1.

Tablica 6.1. Temperature mora za meteorološku postaju Zadar

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\vartheta_{mv}$ (°C)	10,8	10,1	10,9	13,3	16,8	20,3	22,6	22,8	21,1	18,7	15,8	12,7



Slika 6.8. Tlocrtni prikaz položaja usisnog i ispusnog cjevovoda

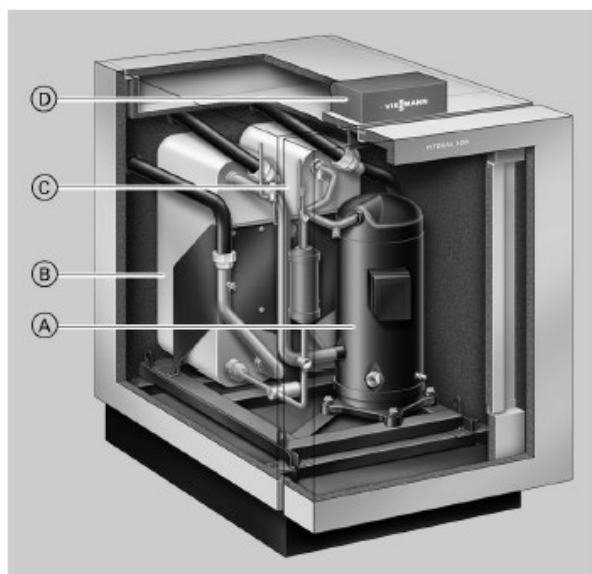
Prosječna dubina na kojoj se izvode usis i ispuštanje morske vode je 1,5 do 3 m, a dužine cjevovoda je idealno da su što manje, ali prihvatljivo je da ta udaljenost bude unutar 500 m [17]. Prema prosječnim vrijednostima lokacija predmetnog objekta zadovoljava kriterije potrebne da bi se ovaj sustav uzeo u razmatranje. Za potrebe ovog projektnog rješenja pretpostavljeno je da bi potrebni radovi za sustav dobili dozvolu od lokalne uprave za postavljanje cjevovoda ispod ceste, te vlasnika neuređenih parcela za ukopavanje cjevovoda.

Kao generator topline trećeg idejnog rješenja ovog projekta odabrana je dizalica topline voda – voda proizvođača Viessmann, tip: Vitocal 300-G tip WW. Za pokrivanje potrebnog učina potrebno je odabranu dizalicu topline kaskadno proširiti tipom BWS. Odabran je kaskadni par: WW 145 + BWS 121 ukupnog učina 80,1 kW [18].

Uz ovu dizalicu topline voda – voda zadržava se spremnik potrošne vode proizvođača Vaillant u kompletu s podstanicom za PTV, kao što je definirano u prvom idejnom rješenju opisanom u poglavlju 6.1.



Presjek dizalice topline i njeni tehnički podatci dani su slikama 6.10 i 6.11.



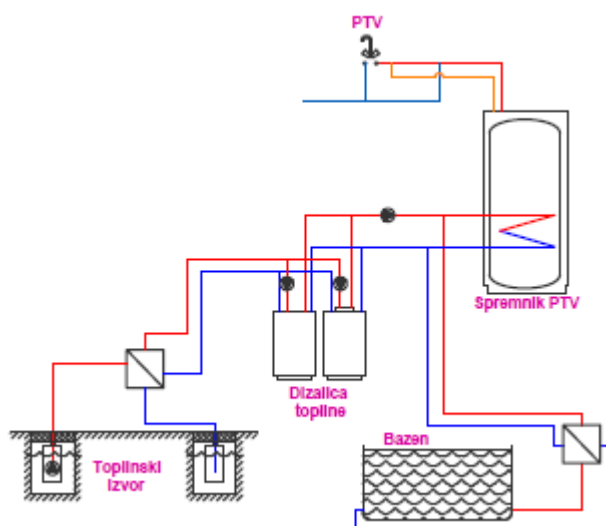
- Ⓐ Hermetički kompresor Compliant Scroll
- Ⓑ Kondenzator
- Ⓒ Isparivač
- Ⓓ Samo tip BW/WW:  
digitalna regulacija toplinske crpke, vođena vremenskim  
prilikama, Vitotronic 200, tip WO1A

*Slika 6.9. Presjek dizalice voda – voda [18]*

<b>Tip BW/BWS</b>				
<b>BW/BWS</b>		<b>121</b>	<b>129</b>	<b>145</b>
<b>Podaci o učinku prema DIN EN 14511 (0/35 °C, 5 K raspon temperature)</b>				
Nazivni toplinski učin	kW	21,2	28,8	42,8
Rashladni učin	kW	17,0	23,3	34,2
Elektr. primljena snaga	kW	4,48	5,96	9,28
Učinski koeficijent ε (COP)		4,73	4,83	4,6
<b>Podaci o učinku prema DIN EN 255 (0/35 °C, 10 K raspon temperature)</b>				
Nazivni toplinski učin	kW	21,5	29,2	43,5
Rashladni učin	kW	17,5	23,8	35,0
Elektr. primljena snaga	kW	4,33	5,75	9,16
Učinski koeficijent ε (COP)		4,97	5,08	4,8
<b>Rasolina (primarni krug)</b>				
Volumen	l	7,3	9,1	12,7
Min. volumni protok (Δt = 5 K)	l/h	3300	4200	6500
Otpor protoka	mbar	90	120	200
Maks. temperatura polaznog voda	°C	25	25	25
Min. temperatura polaznog voda	°C	-5	-5	-5
<b>Ogrjevna voda (sekundarni krug)</b>				
Volumen	l	7,3	9,1	12,7
Min. volumni protok (Δt = 10 K)	l/h	1900	2550	3700
Otpor protoka	mbar	30	48	60
Maks. temperatura polaznog voda	°C	60	60	60

<b>Tip WW</b>				
<b>WW</b>		<b>121</b>	<b>129</b>	<b>145</b>
<b>Podaci o učinku prema DIN EN 14511 (10/35 °C, 5 K raspon temperature)</b>				
Nazivni toplinski učin	kW	28,1	37,1	58,9
Rashladni učin	kW	23,7	31,4	48,9
Elektr. primljena snaga	kW	4,73	6,2	10,7
Učinski koeficijent ε (COP)		5,94	6,0	5,5
<b>Rasolina (primarni krug)</b>				
Volumen	l	7,3	9,1	12,7
Min. volumni protok (Δt = 4 K)	l/h	5200	7200	10600
Otpor protoka	mbar	200	300	440
Maks. ulazna temperatura	°C	25	25	25
Min. ulazna temperatura	°C	-5	-5	-5
<b>Ogrjevna voda (sekundarni krug)</b>				
Volumen	l	7,3	9,1	12,7
Min. volumni protok (Δt = 10 K)	l/h	1900	2550	3700
Otpor protoka	mbar	30	48	60
Maks. temperatura polaznog voda	°C	60	60	60

Slika 6.10. Tehnički podatci dizalice topline voda – voda [18]



Slika 6.11. Shema sustava dizalice topline voda – voda

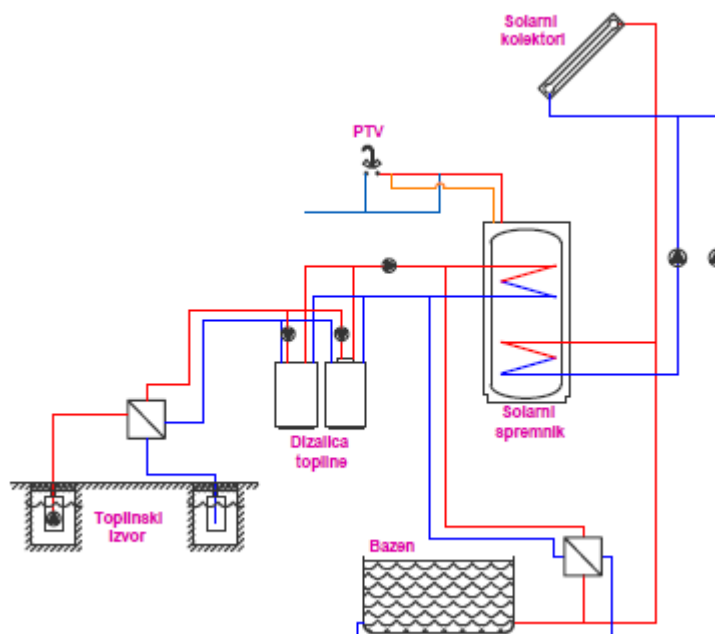
#### 6.4. Dizalica topline voda – voda sa sunčanim kolektorima

Četvrto idejno rješenje projektnog zadatka je sustav dizalice topline voda – voda koja koristi kao izvor topline morsku vodu s dodatnim sustavom sunčevih kolektora.

Kao generator topline ovog idejnog rješenja zadržava se dizalica topline voda – voda proizvođača Viessmann, tip: Vitocal 300-G tip WW 145 s kaskadnim proširenjem BWS 121 ukupnog učina 80,1 kW opisana u poglavlju 6.3 ovog rada.

Uz dizalicu topline voda – voda odabran je spremnik potrošne vode proizvođača Vaillant u kompletu s podstanicom za PTV i podstanicom za solarne sustave, kao što je definirano u drugom idejnom rješenju opisanom u poglavlju 6.2 ovog rada.

Shema definiranog sustava prikazana je na slici 6.13.



Slika 6.12. Shema sustava dizalice topline voda - voda sa sunčanim kolektorima

## 7. ENERGETSKA ANALIZA RAZMATRANIH IZVEDBI SUSTAVA

Prethodno razmatrana idejna rješenja za zagrijavanje potrošne tople i bazenske vode potrebno je usporediti s obzirom na energetske i ekonomske parametre svakog sustava te usvojiti optimalno rješenje. Prvotno je potrebno provesti usporedbu predloženih rješenja po pitanju energetskih parametara kao što su potrebna, isporučena i primarna energija te emisija CO<sub>2</sub>. Navedene energije potrebne za usporedbu izračunate su programom KI Expert kako slijedi.

### 7.1. Definicija fizike zgrade

Energija potrebna za grijanje objekta te za pripremu potrošne tople vode izračunava se u programu KI Expert prema Algoritmu za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora po normi HRN EN ISO 13790.

Predmetni objekt je definiran za potrebe proračuna kao nestambena zgrada.

Najbliža klimatološka postaja je postaja Zadar. U tablicama 7.1 i 7.2 dan je pregled meteoroloških podataka.

Pregled klimatoloških podataka (Zadar)													Aktivni grad: Zadar	
Osnovni podaci													Sunčevo zračenje (S, SE, SW) (E, W, NE, NW) (N)	
<b>Temperature zraka (°C)</b>														
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God	
▶ min	-1,6	-2,3	-2,2	3,8	8,8	14,8	17,7	16,7	13,1	5,7	1,4	-4,6	-4,6	
m	7,5	7,5	10,1	13,5	18,4	22,3	24,8	24,5	20,1	16,4	12,2	8,6	15,5	
max	14,8	13,4	16,5	19,7	25,1	28,6	30,7	29,8	26,1	22,8	20	16	30,7	
<b>Relativna vlažnost zraka (%)</b>														
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God	
▶ m	71	69	71	73	71	70	66	69	70	73	74	71	71	
<b>Tlak vodene pare (Pa)</b>														
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God	
▶ m	750	770	880	1110	1480	1810	1970	1980	1730	1360	1050	820	1310	
<b>Brzina vjetra (m/s)</b>														
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God	
▶	2,4	2,6	2,5	2,4	2,1	2	2	1,8	1,8	2	2,7	2,6	2,2	

Slika 7.1. Osnovni klimatološki podatci za Zadar

**Pregled klimatoloških podataka (Zadar)** Aktivni grad: **Zadar**

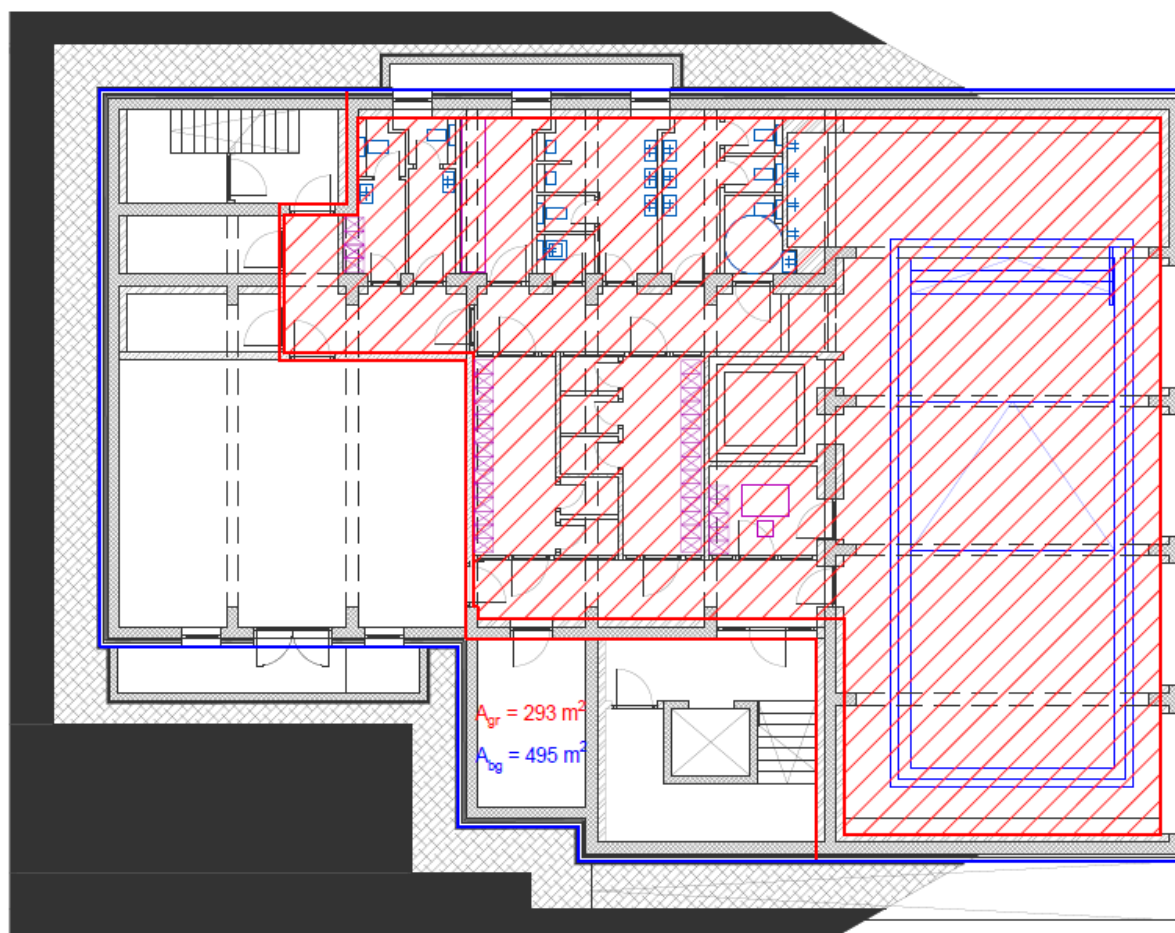
Osnovni podaci Sunčevo zračenje (S, SE, SW) (E, W, NE, NW) (N)

**Globalno sunčevo zračenje (MJ/m2)**

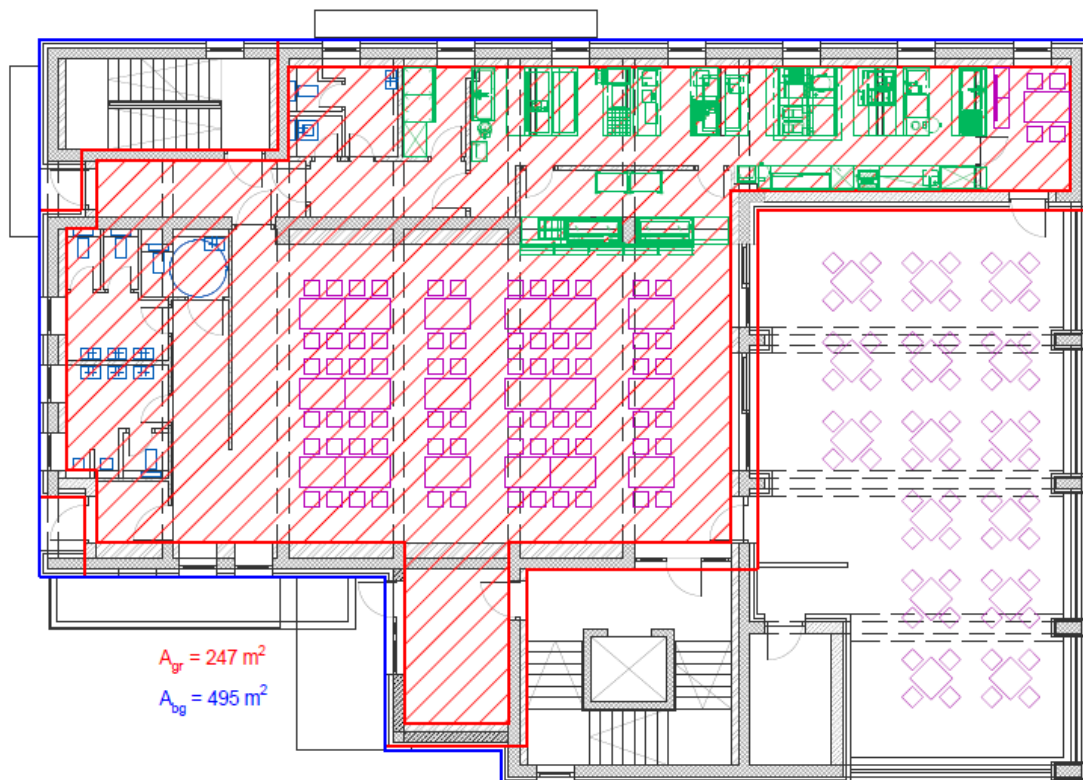
S	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
▶ 0°	169	249	413	535	682	741	763	655	485	348	190	133	5362
15°	222	312	470	565	687	731	761	681	542	429	249	174	5823
30°	264	359	505	569	663	692	727	676	572	488	296	206	6019
45°	292	388	514	547	612	626	663	640	573	520	327	229	5931
60°	305	395	496	500	536	537	573	574	544	524	340	239	5564
75°	301	381	454	431	441	431	463	484	488	499	335	237	4944
90°	281	346	391	344	335	318	343	376	408	447	311	222	4121

*Slika 7.2. Sunčevo zračenje za Zadar*

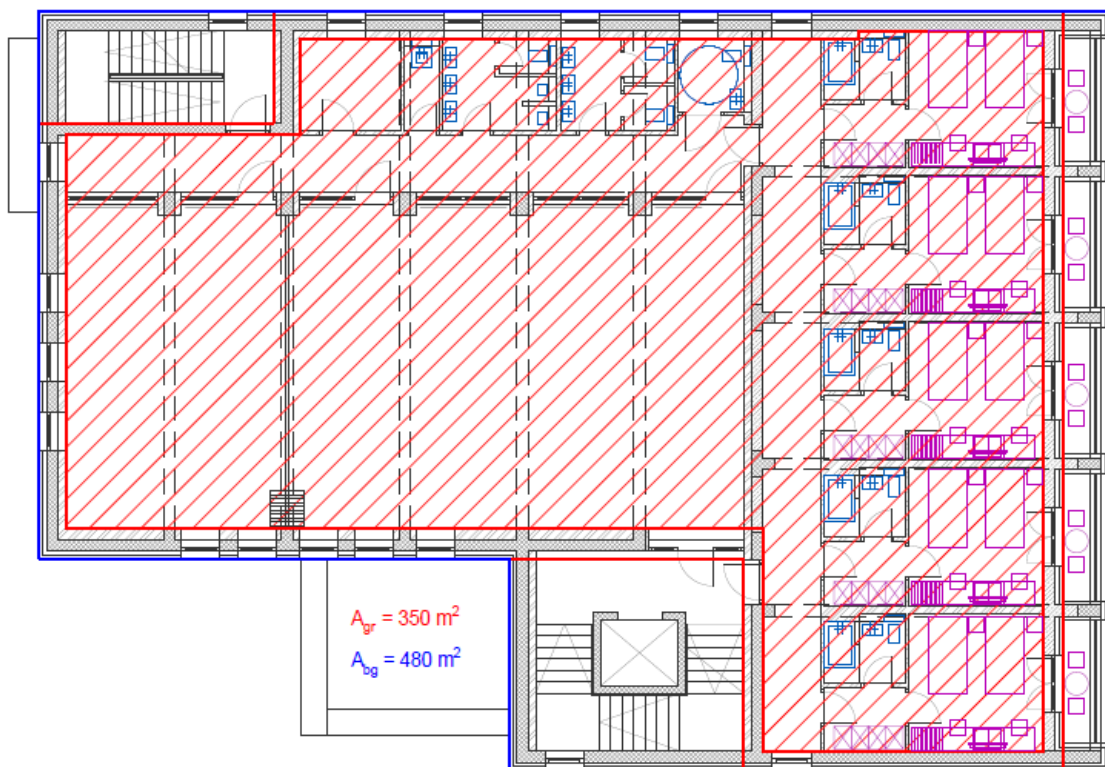
Pregled grijanih površina koje je potrebno uzeti u obzir za definiranje zona u programu dan je na slikama 7.3 do 7.9.



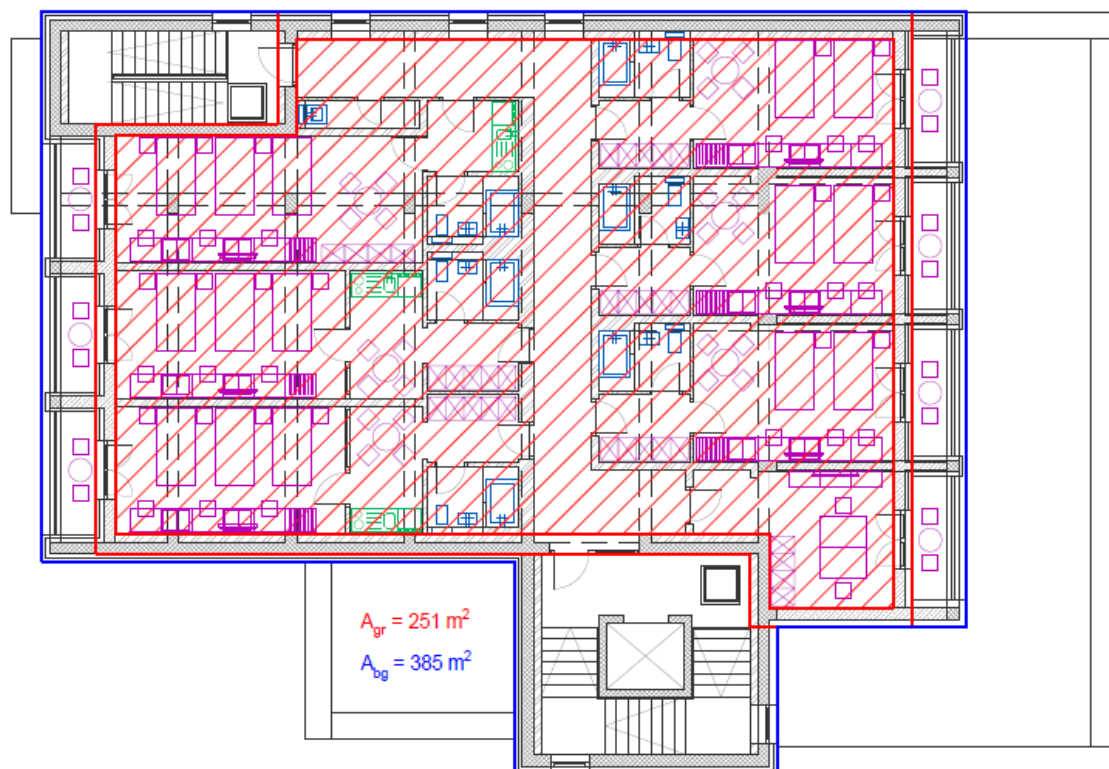
*Slika 7.3. Tlocrt podruma glavne zgrade*



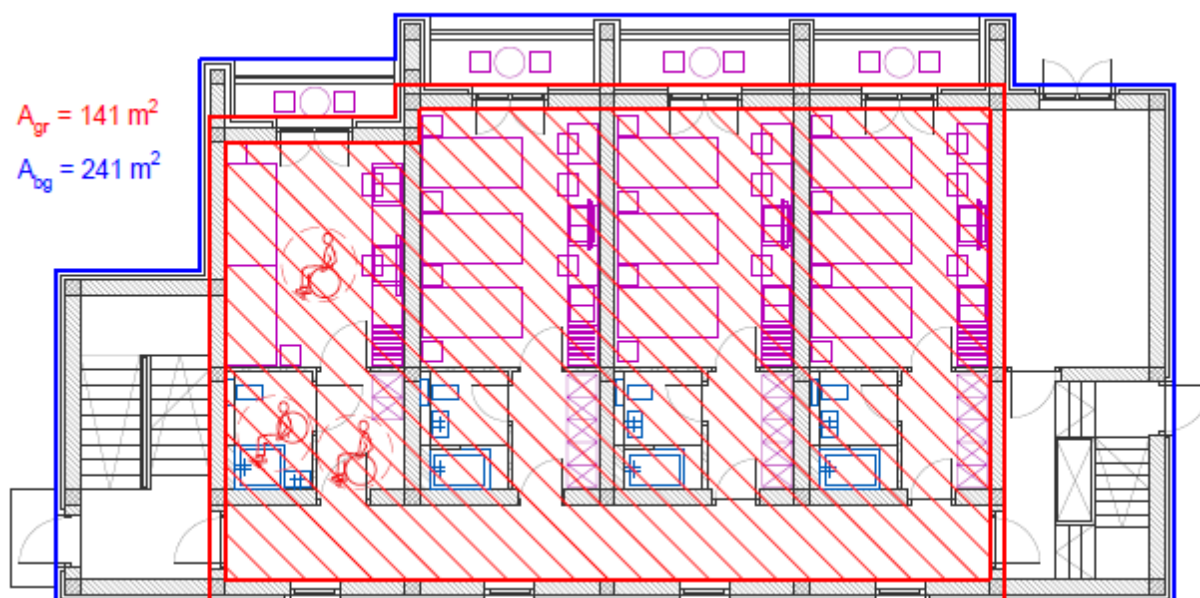
Slika 7.4. Tlocrt prizemlja glavne zgrade



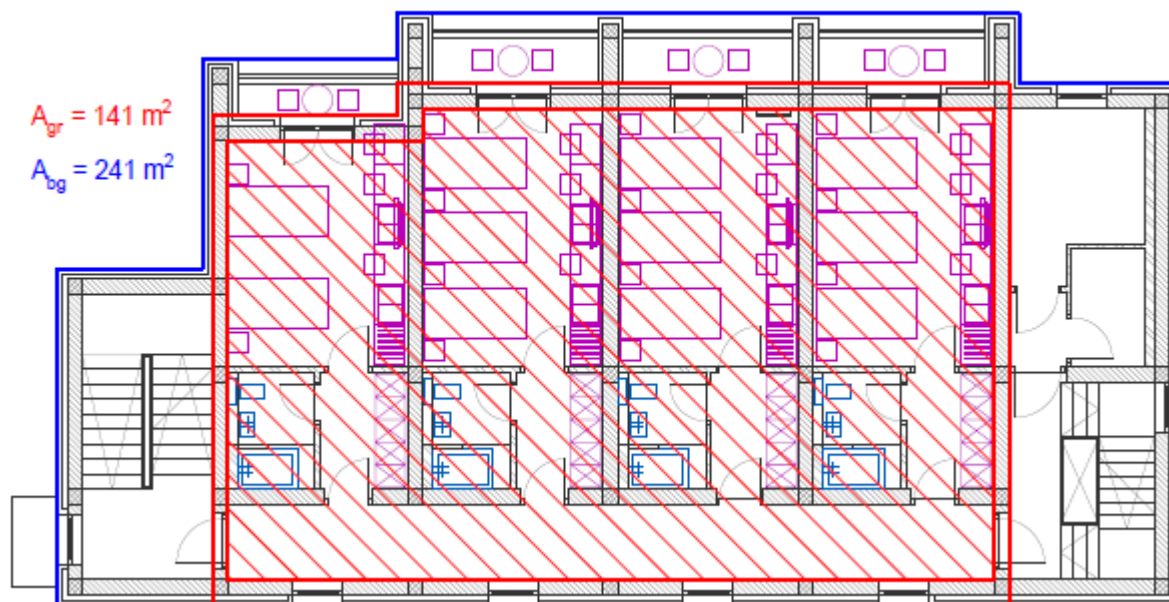
Slika 7.5. Tlocrt prvog kata glavne zgrade



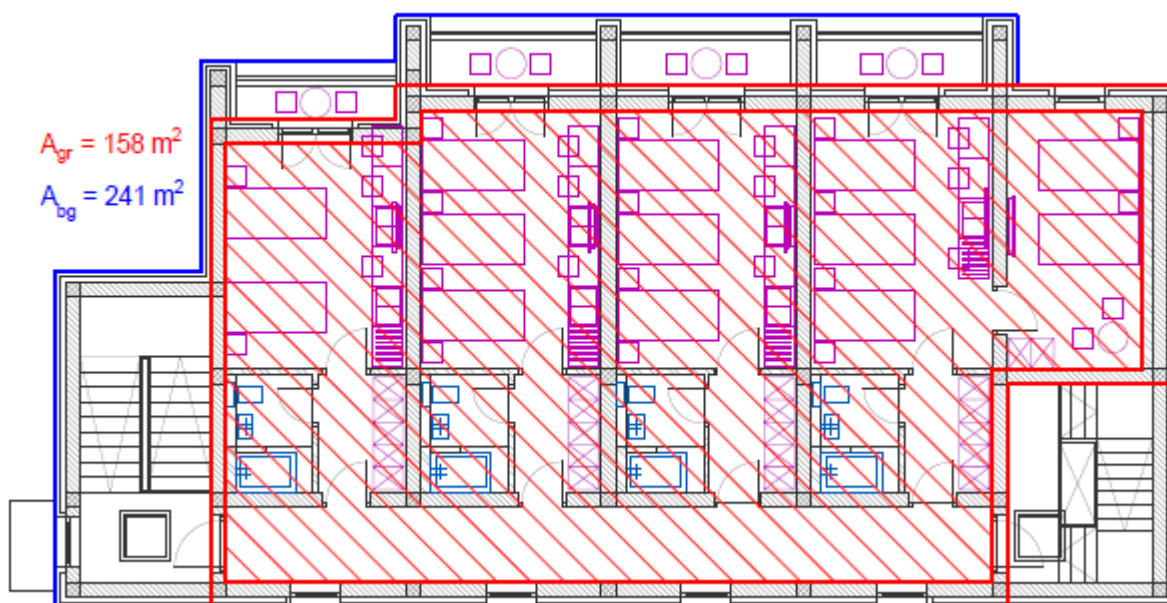
*Slika 7.6. Tlocrt drugog kata glavne zgrade*



*Slika 7.7. Tlocrt prizemlja dependanse*



*Slika 7.8. Tlocrt prvog kata depandanse*



*Slika 7.9. Tlocrt drugog kata depandanse*

Cjelokupni kompleks sastoji se od dvije zgrade ali, s obzirom da se u podrumu glavne zgrade nalazi bazen koji ima drugačiji režim upotrebe i proračun potrebne energije računa drugačije, definirane su tri toplinske zone: depandansa, glavna zgrada i bazen. Zona Glavna zgrada pritom obuhvaća višenamjenski dio prizemlja i dva kata, a zona Bazen podrum glavne zgrade u kojem se on i nalazi. Detalji definiranja pojedine zone vidljivi su u tablici 7.1.



Tablica 7.1. Definirane zone objekta

	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
Naziv:	Depandansa	Glavna zgrada	Bazen
Namjena zone:	Nestambeni dio	Nestambeni dio	Nestambeni dio
Namjena nestambene zgrade:	Hoteli, moteli, restorani	Hoteli, moteli, restorani	Ostale zgrade
Obujam grijanog dijela, m <sup>3</sup>	1 374,3	2 418,5	1 020
Korisna površina grijanog dijela zgrade, m <sup>2</sup>	440	848	293
Bruto površina zone, m <sup>2</sup>	723	1360	494
Način grijanja PTV-a	Centralno	Centralno	Centralno

U sklopu arhitektonskih podloga za ovaj projekt definirani su slojevi građevnih elemenata potrebni za proračun koeficijenta prolaza topline. Dani podatci korišteni su za definiranje građevnih dijelova i otvora unutar programa. Za potrebe proračuna definirani su građevni dijelovi ruba grijane zone bez unutarnjih pregrada i otvora. Pregled građevnih dijelova dan je na slikama od 7.10 do 7.12, a otvora na slikama od 7.13 do 7.15.

#	Naziv	Vrsta	Agd	U	U(max)	fRsi	fRsi(max)	
1	1_VZ	Vanjski zidovi	297,30	0,16	0,45	0,66	0,96	✓
2	1_P1	Podovi na tlu	141,00	0,12	0,50	0,00	0,97	✓
4	1_K	Ravni krovovi iznad grijanog prostora	158,00	0,17	0,30	0,66	0,96	✓
5	1_UZ	Zidovi prema negrijanim prostorijama	118,00	0,48	0,60	0,66	0,88	✓

Slika 7.10. Građevni dijelovi depandanse

#	Naziv	Vrsta	Agd	U	U(max)	fRsi	fRsi(max)	
8	2_VZ1	Vanjski zidovi	366,15	0,18	0,45	0,66	0,96	✓
9	2_VZ2	Vanjski zidovi	167,20	0,16	0,45	0,66	0,96	✓
10	2_MK	Podovi na tlu	247,00	0,49	0,50	0,00	0,88	✓
11	2_K	Ravni krovovi iznad grijanog prostora	251,00	0,18	0,30	0,66	0,96	✓
12	2_UZ	Zidovi prema negrijanim prostorijama	157,50	0,58	0,60	0,66	0,85	✓

Slika 7.11. Građevni dijelovi glavne zgrade

#	Naziv	Vrsta	Agd	U	U(max)	fRsi	fRsi(max)	
13	3_VZ	Vanjski zidovi	91,98	0,17	0,45	0,34	0,96	✓
14	3_VZT	Zidovi prema tlu	49,42	0,17	0,50	0,46	0,96	✓
15	3_UZ1	Zidovi prema negrijanim prostorijama	58,35	0,58	0,60	0,34	0,85	✓
16	3_UZ2	Zidovi prema negrijanim prostorijama	45,45	0,42	0,60	0,34	0,90	✓
17	3_MK1	Stropovi između grijanih dijelova različitih ...	293,00	0,53	0,80	-	-	✓
18	3_MK2	Podovi na tlu	293,00	0,49	0,50	0,46	0,88	✓

Slika 7.12. Građevni dijelovi bazena

Naziv otvora	Ug1	Ug2	Ug	Uf	Uw1	Uw2	ΔR	n	Uw	
1_P1	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	8,00	1,60	✓
1_P2	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	5,00	1,60	✓
1_B1	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	12,00	1,60	✓

Slika 7.13. Otvori depandanse

Naziv otvora	Ug1	Ug2	Ug	Uf	Uw1	Uw2	ΔR	n	Uw	
2_P1	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	3,00	1,60	✓
2_P2	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	29,00	1,60	✓
2_B1	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	12,00	1,60	✓
2_B2	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	1,00	1,60	✓
2_B3	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	1,00	1,60	✓
2_V1	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	4,00	1,60	✓
2_V2	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	1,00	1,60	✓

Slika 7.14. Otvori glavne zgrade

Naziv otvora	Ug1	Ug2	Ug	Uf	Uw1	Uw2	ΔR	n	Uw	
3_P1	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	3,00	1,60	✓
3_P2	0,00	0,00	1,10	2,90	0,00	0,00	0,15	4,00	1,60	✓

Slika 7.15. Otvori bazena

## 7.2. Proračun potrebne energije

Potrebna energija predstavlja ukupnu energiju potrebnu za rad nekog sustava ili procesa u predviđenom režimu. Prethodno izračunata energija potrebna za zagrijavanje potrošne tople i bazenske vode (prema poglavlju 5 ovog rada) iznosi ukupno 164 756 kWh godišnje. KI Expert se za proračun potrebne energije služi Algoritmom za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790 propisanim od strane Ministarstva [19]. U računalnom programu proračun potrebne energije za sustav PTV-a za nestambene zgrade nije

nužan, stoga je potrebno samostalno definirati način proračuna potrošnje prema ponuđenim vrstama namjene objekta. Način definiranja potrošnje PTV-a za pojedinu zonu i izračun potrebne godišnje energije prikazan je tablicom 7.2.

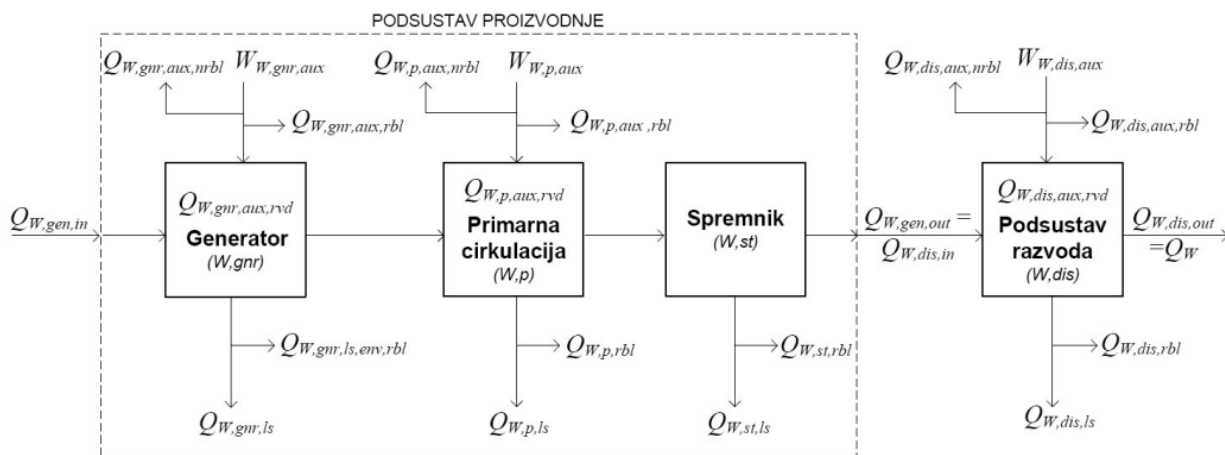
Tablica 7. 2. Godišnja potrebna energija za zagrijavanje potrošne tople i bazenske vode

	<b>ZONA 1</b>	<b>ZONA 2</b>	<b>ZONA 3</b>
Naziv:	Depandansa	Glavna zgrada	Bazen
Temperatura PTV-a, °C	45	45	45
Temperatura svježe vode, °C	10	10	10
Tip zgrade	Hoteli	Ugostiteljski objekt	Ostalo
Vrsta zgrade	1. zvjezdica	2 obroka dnevno	
Broj korisnika po noćenju/ obroku	35	65	
Dnevna potrošnja po jedinici, l			20000
<i>Godišnja potrebna energija, kWh</i>	<i>33 424</i>	<i>21 370</i>	<i>116 299</i>
	<i>Q<sub>w</sub> = 171 093 kWh</i>		

### 7.3. Definiranje termotehničkih sustava

Termotehnički sustavi definirani su prema idejnim rješenjima opisanima u poglavlju 6 uz korištenje parametara odabrane opreme. Komponente tehničkog sustava koje je potrebno definirati za sustav zagrijavanja potrošne tople vode u programu prikazane su slikom 7.16.

## PRIPREMA PTV-a



Slika 7. 16. Termotehnički sustav za grijanje PTV [20]

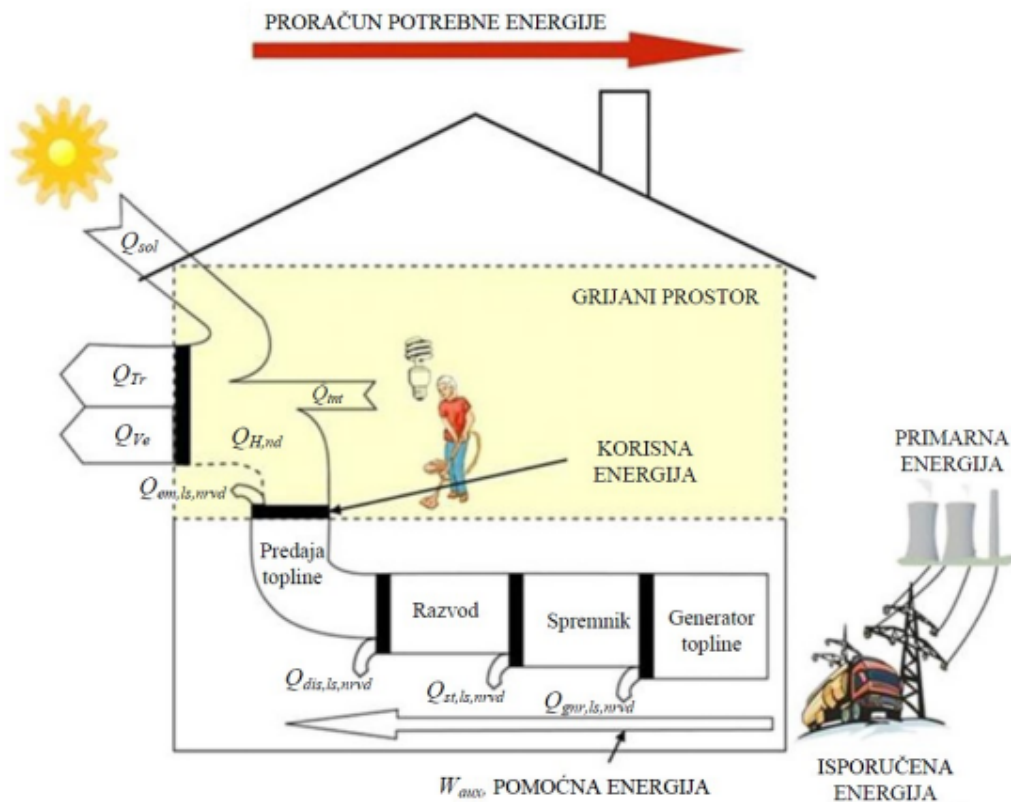
Generatori topline za idejna rješenja su dizalice topline i solarni sustavi, spremnici su definirani odabirom opreme, a podsustav razvoda se definira prema dimenzijama sustava iz arhitektonskih podloga.

### 7.4. Proračun isporučene i primarne energije

Isporučena energija je energija koju je potrebno dovesti potrošaču ili korisniku da bi se osigurao rad njegovog sustava. To je, dakle, suma potrebne energije i svih gubitaka nastalih na mjestu korištenja.

Primarna energija je energija koja se nalazi u prirodi i spremna je za korištenje. Ona se sastoji od isporučene energije i svih mogućih gubitaka sustava pretvorbe i distribucije na putu od izvora do korisnika.

Proračun primarne i isporučene energije u programu KI Expert vrši se prema Algoritmu za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama objavljenom na službenim stranicama Ministarstva prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine [19]. Energetski tokovi zgrade s naznačenim dijelovima termotehničkog sustava prikazani su slikom 7.17.



- $Q_{H,nd}$  – potrebna toplinska energija za grijanje prostora (kWh);
- $Q_{Tr}$  – transmisijski toplinski gubici (kWh);
- $Q_{Ve}$  – ventilacijski toplinski gubici (kWh);
- $Q_{sol}$  – toplinski dobici od sunčevog zračenja (kWh);
- $Q_{int}$  – toplinski dobici od unutrašnjih izvora (ljudi, uređaja, rasvjete) (kWh);
- $Q_{em,ls,nrvd}$  – neiskorišteni toplinski gubici podsustava predaje toplinske energije u prostor (kWh);
- $Q_{dis,ls,nrvd}$  – neiskorišteni toplinski gubici podsustava razvoda (kWh);
- $Q_{st,ls,nrvd}$  – neiskorišteni toplinski gubici spremnika (kWh);
- $Q_{gnr,ls,nrvd}$  – neiskorišteni toplinski gubici generatora topline (kWh);
- $W_{aux}$  – pomoćna električna energija za pogon pomoćnih uređaja (kWh).

Slika 7.17. Energetski tokovi u zgradi s termotehničkim sustavom [20]

## 7.5. Rezultati proračuna

Rezultati proračuna isporučene i primarne energije, te emisije CO<sub>2</sub> prikazane za svaki sustav po zonama dani su u tablicama 7.3 do 7.6.

Tablica 7.3. Energetska analiza Idejnog rješenja 1

<b>Idejno rješenje 1 - DIZALICA TOPLINE ZRAK - VODA</b>			
ZONA	Isporučena energija	Primarna energija	Godišnja emisija CO <sub>2</sub>
	E <sub>del</sub> (kWh)	E <sub>prim</sub> (kWh)	(kg)
Depandansa	19694	31790	4624
Glavna zgrada	20800	33571	4884
Bazen	28503	46004	6693
<b>UKUPNO</b>	<b>68997</b>	<b>111365</b>	<b>16201</b>

Tablica 7.4. Energetska analiza Idejnog rješenja 2

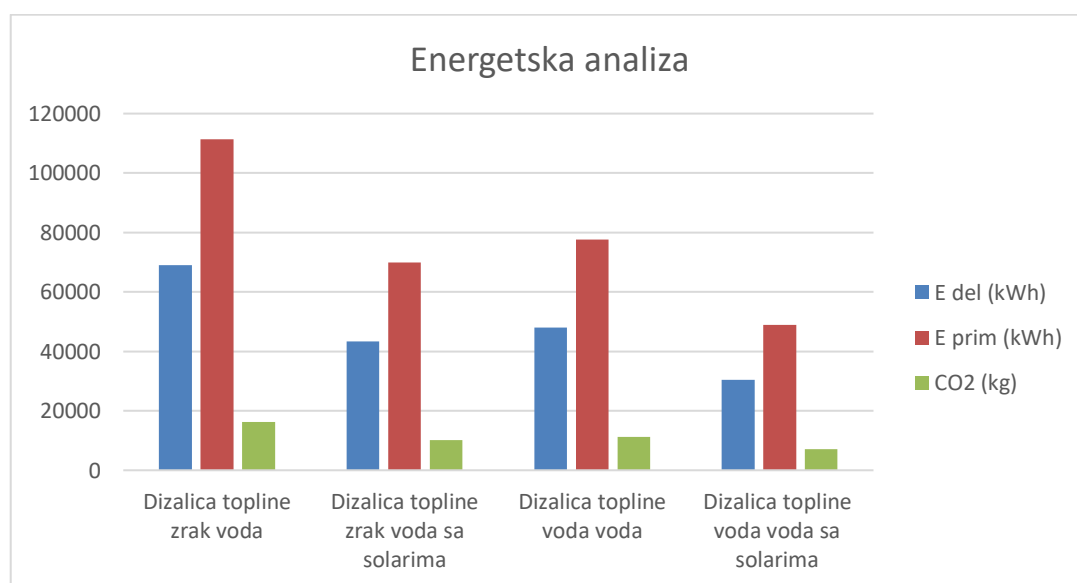
<b>Idejno rješenje 2 - DIZALICA TOPLINE ZRAK - VODA SA SOLARNIM SUSTAVOM</b>			
ZONA	Isporučena energija	Primarna energija	Godišnja emisija CO <sub>2</sub>
	E <sub>del</sub> (kWh)	E <sub>prim</sub> (kWh)	(kg)
Depadansa	12899	20819	3029
Glavna zgrada	15628	25223	3670
Bazen	14750	23807	3463
<b>UKUPNO</b>	<b>43277</b>	<b>69849</b>	<b>10162</b>

Tablica 7.5. Energetska analiza Idejnog rješenja 3

<b>Idejno rješenje 3 - DIZALICA TOPLINE VODA - VODA</b>			
ZONA	Isporučena energija	Primarna energija	Godišnja emisija CO <sub>2</sub>
	E <sub>del</sub> (kWh)	E <sub>prim</sub> (kWh)	(kg)
Depadansa	13690	22097	3215
Glavna zgrada	14487	23382	3402
Bazen	19886	32097	4670
<b>UKUPNO</b>	<b>48063</b>	<b>77575</b>	<b>11286</b>

Tablica 7.6. Energetska analiza Idejnog rješenja 4

<b>Idejno rješenje 4 - DIZALICA TOPLINE VODA - VODA SA SOLARNIM SUSTAVOM</b>			
ZONA	Isporučena energija	Primarna energija	Godišnja emisija CO <sub>2</sub>
	E <sub>del</sub> (kWh)	E <sub>prim</sub> (kWh)	(kg)
Depadansa	9011	14544	2116
Glavna zgrada	10928	17637	2566
Bazen	10404	16791	2443
<b>UKUPNO</b>	<b>30342</b>	<b>48973</b>	<b>7125</b>



Slika 7.18. Grafički prikaz energetske usporedbe idejnih rješenja

Kao što je vidljivo prema rezultatima proračuna, u idejnim rješenjima koji kao dodatni sustav zagrijavanja potrošne tople i bazenske vode koriste sunčani kolektorski sustav isporučena i primarna energija i godišnja emisija manje su za >35 % u odnosu na idejna rješenja u kojima je osnovni generator dizalica topline. Prema energetskej analizi optimalan sustav bi bio sustav opisan u idejnom rješenju 4, a to je sustav dizalice topline koja kao toplinski izvor koristi morsku vodu uz dodatni sustav sunčanih kolektora.

## 8. EKONOMSKA ANALIZA

Osim energetske potrebno je izvršiti i ekonomsku analizu sustava kroz određeni vremenski period. Prvotno su određene projektantske procjene svakog idejnog rješenja, definirane prema prosječnim cijenama odabrane opreme i očekivanih radova. Pregled investicijskih troškova sustava dan je tablicom 8.1.

Tablica 8.1. Investicijski troškovi

INVESTICIJSKI TROŠKOVI	DT ZRAK-VODA	DT ZRAK-VODA SA SOLARIMA	DT VODA-VODA	DT VODA-VODA SA SOLARIMA
EUR:	49.450,00	105.160,00	72.600,00	128.310,00

Osim početnih investicijskih troškova potrebno je izračunati ukupne godišnje troškove za svaki sustav koji se sastoji od troška kapitala, troškova energenta i troškova održavanja [4]:

$$T_{uk} = T_k + T_{el} + T_{od} \quad (8.1)$$

gdje je:

$T_{uk}$  – ukupan godišnji trošak rada sustava, EUR

$T_k$  – trošak kapitala, EUR

$T_{el}$  – trošak energenta, za ovaj slučaj to je električna energija, EUR

$T_{od}$  – trošak održavanja sustava, EUR.

Trošak kapitala može se definirati kao:

$$T_k = T_i \cdot (1 - r) \cdot q_{k,uk} \quad (8.2)$$

gdje je:

$T_i$  – investicijski trošak sustava, prikazan tablicom 8.1.

$r$  – faktor ostatka vrijednosti opreme, računa se kao:

$$r = \frac{t - n}{t} \cdot \left(\frac{k_i}{q}\right)^n \quad (8.3)$$

$t$  – radni vijek opreme u godinama



$n$  – broj godine analize sustava (period razmatranja)

$k_i$  – faktor inflacije, može se izračunati prema:

$$k_i = 1 + \frac{i}{100} \quad (8.4)$$

$i$  – godišnja stopa inflacije, %

$q$  – faktor kamate

$$q = 1 + \frac{k_a}{100} \quad (8.5)$$

$k_a$  – prosječna godišnja kamatna stopa, %

$q_{k,uk}$  – ukupni faktor kamate koji definira godišnji utjecaj ekonomskih čimbenika na cijenu rada sustava

$$q_{k,uk} = \frac{q^n \cdot (q - 1)}{q^n - 1} \quad (8.6)$$

Trošak električne energije potrebne za rad pojedinog sustava definiran je kao:

$$T_{el} = T_{el,1} \cdot q_{dis} \cdot q_{k,uk} \quad (8.7)$$

gdje je:

$T_{el,1}$  – trošak električne energije u prvoj godini rada sustava, EUR

$q_{dis}$  – diskontni faktor, računa se kao:

$$q_{dis} = \frac{q^n \cdot k_i^n}{q^n \cdot (q - k_i)} \quad (8.8)$$

Troškovi energije za prvu godinu rada sustava računaju se za isporučenu električnu energiju dobivenu proračunom u KI Expertu, a cijene su preuzete sa službenih stranica državne elektroenergetske tvrtke HEP za poduzetništvo.

Trošak održavanja sustava odnosi se na troškove redovnih servisa, ispitivanja, popravaka, osiguranja i sl. a računa se kao:

$$T_{od} = (p_0 \cdot T_i) \cdot q_{dis} \cdot q_{k,uk} \quad (8.7)$$

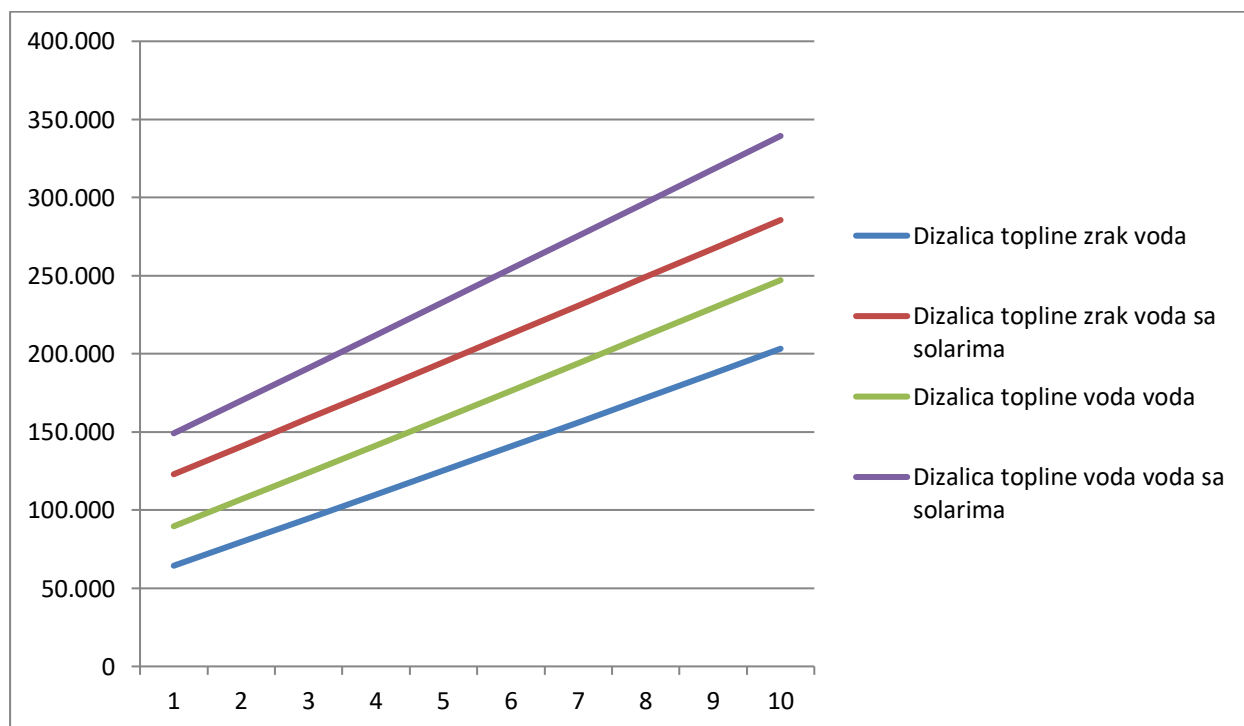
gdje je:

$p_0$  – udio godišnjih troškova održavanja, izražen kao % ukupne investicijske cijene sustava.

Tablica 8.2. Troškovi pojedinog sustava u prvog godini korištenja

	<b>DT ZRAK- VODA</b>	<b>DT ZRAK- VODA SA SOLARIMA</b>	<b>DT VODA- VODA</b>	<b>DT VODA- VODA SA SOLARIMA</b>
<b>Cijena investicije</b>	<b>49.450,00</b>	<b>105.160,00</b>	<b>72.600,00</b>	<b>128.310,00</b>
Trošak kapitala	4.232,92	9.001,70	6.214,56	10.983,34
Troškovi energije	8.280,36	5.214,51	5.785,02	3.672,68
Trošak održavanja	2.472,50	3.586,70	5.082,00	6.196,20
<b>Godišnji trošak</b>	<b>14.985,78</b>	<b>17.802,91</b>	<b>17.081,58</b>	<b>20.852,21</b>

Prema tablici 8.2 vidljivo je da su i cijena investicije i godišnji trošak rada za sustav pogonjen samo dizalicom topline zrak voda najniži. No za pravilnu ekonomsku analizu potrebno je usporediti sustave kroz određeni period rada, stoga je slikom 8.1 dan prikaz analize troškova po sustavima za razdoblje od 10 godina.



Slika 8.1. Analiza troškova sustava u vremenskom razdoblju od 10 godina

Prema očekivanom, s obzirom da svi razmatrani sustavi kao pogonsku energiju troše električnu energiju, trošak njihova rada u višegodišnjem periodu linearno raste te se sa stajališta ekonomske analize može reći da je najisplativiji sustav dizalica topline zrak – voda.

Nakon provedene energetske i ekonomske analize koje su dale potpuno različite rezultate, u smislu energetske najbolji sustav je ekonomski najneprihvatljiviji i obratno, potrebno je odabrati optimalni sustav. Imajući u vidu da je za zadovoljavanje potrebne energije za grijanje potrošne tople i bazenske vode potreban velik broj kolektora koji u hladnijim mjesecima pokrivaju 20 % potrebne energije, te da je uz njih potrebno osigurati osnovni generator koji je kapacitiran na maksimalnu proračunatu energiju, u prvom koraku iz razmatranja se isključuju sustavi sa sunčanim kolektorima. Prema tablici 8.3 vidljivo je da iznos investicijske vrijednosti sustava s dizalicom topline voda-voda može pokriti pet godina rada sustava dizalice zrak-voda, što je petina njegova procijenjenog radnog vijeka. Uzevši u obzir kompleksnost sustava dizalice voda-voda, s tehničke ali i izvedbene strane, u smislu potrebnih dozvola od strane gradske uprave i vlasnika susjednih čestica, kao optimalan sustav za zadani projektni zadatak odabrana je dizalica topline zrak-voda.

## 9. RAZRADA ODABRANOG RJEŠENJA

### 9.1. Tehnički opis sustava

Za obrazovni kompleks koji se nalazi u Tkonu, na otoku Pašmanu, izrađen je projekt zagrijavanja potrošne tople vode i vode u zatvorenom bazenu.

Kompleks se sastoji od dviju zgrada. Depandansa je namijenjena isključivo smještaju korisnika. Glavna višenamjenska zgrada služi djelomično kao smještajni kapacitet, a ostalo su prostor za učenje, restoran i bazen. U podrumu glavne zgrade nalazi se strojarnica u koju se predviđa montirati svu potrebnu strojarsku opremu.

Za pokrivanje potrebne proračunate energije za zagrijavanje tople potrošne i bazenske vode odabran je sustav s dizalicom topline zrak – voda koji kao izvor topline koristi okolni zrak. Odabrana dizalica topline proizvođača Viessmann, Vitocal 200-A PRO je monoblok izvedbe, što znači da se sastoji od jedne vanjske jedinice koju se predviđa smjestiti na jugozapadno pročelje glavne zgrade, uz vanjski zid objekta, na poziciji kako je naznačeno u grafičkim priložima. Dizalica topline postavlja se na betonske temelje minimalne visine 30 cm u odnosu na okolni teren, okružene rasutim kamenitim materijalom. Odvod kondenzata predviđen je slobodnim padom na poziciji postavljanja.

Dizalica topline zrak – voda spojena je putem troputnog motornog prekretnog ventila na multifunkcionalni spremnik i bazenski izmjenjivač topline. Cjevovod koji spaja dizalicu topline sa spremnikom izveden je od izoliranih bakrenih cijevi.

Zagrijavanje potrošne tople vode putem multifunkcionalnog spremnika allSTOR exclusive VPS 1500 vrši se na protočnom principu u kompletu s četiri podstanice za potrošnu toplu vodu aguaFLOW VPM 40/45/2 W koje mogu pokriti vršnu potrošnju PTV-a za objekt ove veličine.

Zagrijavanje bazenske vode vrši se preko izmjenjivača topline nazivne snage 30 kW za temperaturu primarnog medija 65 °C.

Vodena strana sustava u strojarnici izvedena je od bakrenih cijevi u šipkama izoliranih cijevnom izolacijom.

## 9.2. Program kontrole

### 9.2.1. Opći uvjeti izvođenja

Radove predviđene projektnom dokumentacijom potrebno je izvesti u cijelosti prema tehničkom opisu, specifikacijama opreme, materijala i radova, tehničkom nacrtom dokumentacijom te važećim propisima RH i nadležne upravne vlasti.

Prije početka radova izvoditelj je dužan preuzeti projektnu dokumentaciju i usporediti istu sa stanjem na lokaciji izvođenja radova. Ukoliko je potrebna izmjena dokumentacije uslijed promjene uvjeta u odnosu na projektno pretpostavljene, izvoditelj je dužan o istome obavijestiti investitora i nadzornog inženjera te zatražiti pismenu uputu i suglasnost o izmjeni dokumentacije.

Izvoditelj ne smije bez pismenog odobrenja glavnog projektanta mijenjati sustave predviđene projektnom dokumentacijom. U slučaju da su prilikom izvođenja radova izvršene izmjene bez suglasnosti projektanta, isti se neće smatrati odgovornim za funkcionalnost sustava.

Izvoditelj je dužan ugraditi materijale i opremu istovjetnu ili jednakovrijednu opremi definiranoj u glavnom projektu. Za ugrađene materijale i opremu izvoditelj je dužan izvršiti projektom propisana ispitivanja te o tome sačiniti pismeno izvješće.

Izvoditelj je obavezan, prilikom izvođenja radova, voditi građevinski dnevnik, na način propisan i u skladu s Pravilnikom o načinu provedbe stručnog nadzora građenja, obrascu, uvjetima i načinu vođenja građevinskog dnevnika te o sadržaju završnog izvješća nadzornog inženjera.

Izvoditelj je obavezan pridržavati se svih uputa danih ovim projektom, propisanih pravila struke i Zakonskih akata.

### 9.2.1. Posebni uvjeti izvođenja

Cjevovod od vanjske jedinice sustava potrebno je izvesti bakrenim cijevima dodatno obloženim izolacijom sa parnom branom. Spojevi se izvode tvrdim lemom. Na mjestima armature spojevi se izvode navojnim spojem.

Instalaciju je potrebno ispitati na čvrstoću i nepropusnost. Ispitivanje se vrši inertnim plinom ili komprimiranim zrakom, pri ispitnom tlaku od 1,5 x radni tlak. O ispitivanju je potrebno sačiniti zapisnik.

Izvoditelj je dužan izvesti probni rad sustava i obučiti osobu investitora za rad na sustavu. O probnom radu sustava potrebno je sačiniti zapisnik.

Vlasnik zgrade dužan je osigurati redoviti pregled sustava jednom u deset godina. O redovitom pregledu sustava potrebno je sačiniti zapisnik koji potpisuju sve ovlaštene osobe koje su u pregledu sudjelovale.

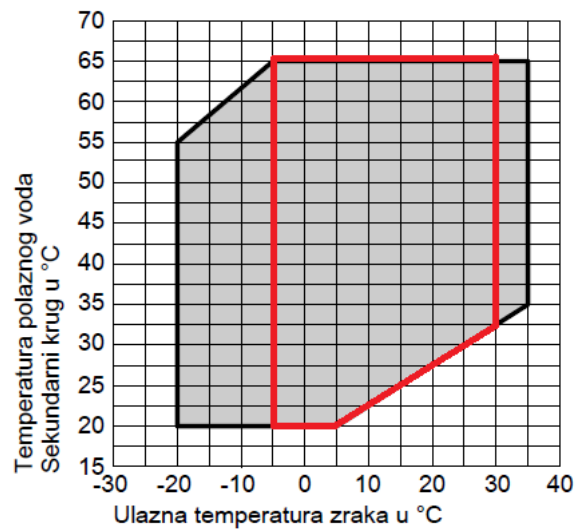
### **9.3. Tehnički proračuni**

#### 9.3.1. Dizalica topline zrak - voda

Proračun energetske opterećenja sustava za zagrijavanje potrošne tople vode i bazenske vode prikazan je u poglavlju 5 ovoga rada. Prema proračunu ukupan potreban učin za zagrijavanje potrošne tople vode iznosi 43,75 kW, a za zagrijavanje bazenske vode 26,35 kW.

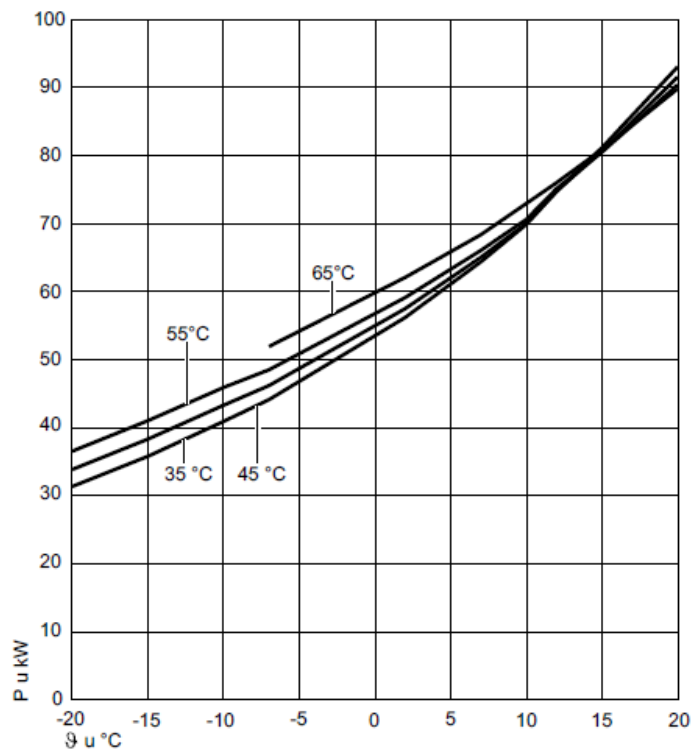
Preliminarno je odabrana dizalica topline zrak – voda proizvođača Viessmann, tip Vitocal 200 A PRO 064 nazivnog učina za zagrijavanje potrošne vode 89,9 kW, s radnom tvari R407C.

Prema uputi proizvođača za odabrani tip dizalice potrebno je u monovalentnom načinu rada uzeti u obzir utjecaj vanjske temperature na mjestu postavljanja. Na slici 9.1 označeno je područje rada odabrane dizalice s obzirom na minimalnu temperaturu -5 °C i maksimalnu 30 °C prema podacima za lokaciju Zadar iz poglavlja 7.

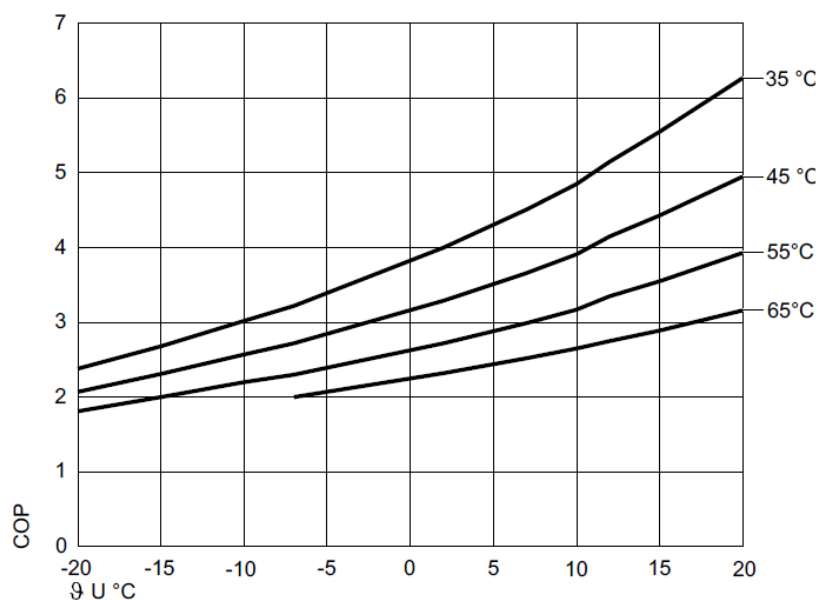


Slika 9.1. Radno područje dizalice topline u ovisnosti o vanjskoj temperaturi zraka [14]

Na slikama 9.2 i 9.3 dan je prikaz radnih parametara dizalice topline u odnosu na vanjske temperature zraka.



Slika 9.2. Učin dizalice topline u ovisnosti o vanjskoj temperaturi zraka [14]



Slika 9. 3. COP dizalice topline u ovisnosti o temperaturi vanjskog zraka [14]

Parametri rada dizalice topline zrak voda i izračun stvarnog faktora grijanja dani su tablicama 9.1 i 9.2.

Tablica 9.1. Radne temperature dizalice topline

<b>ISPARIVAČ</b>			
Promjena temperature izvora	$\Delta T1 =$	10	°C
Promjena temperature radne tvari	$\Delta T2 =$	4	°C
<b>KONDENZATOR</b>			
Razlika temperature radna posredni fluid	$\Delta T3 =$	3	°C
Razlika temperature posredni fluid i ptv	$\Delta T2 =$	5	°C
Temperatura PTV	$T_{ptv} =$	50	°C
Temperatura kondenzacije	$T_{kond} =$	58	°C



Tablica 9.2. Izračun stvarnog faktora grijanja (COP)

Mjesec	Temperatura zraka	Temperatura isparavanja	Temperatura kondenzacije	Stupanj djelovanja	COP
	K	K	K	$\eta$	
I	280,65	266,65	331,15	0,48	2,47
II	280,65	266,65	331,15	0,48	2,47
III	283,25	269,25	331,15	0,49	2,60
IV	286,65	272,65	331,15	0,49	2,80
V	291,55	277,55	331,15	0,51	3,12
VI	295,45	281,45	331,15	0,51	3,43
VII	297,95	283,95	331,15	0,52	3,65
VIII	297,65	283,65	331,15	0,52	3,62
IX	293,25	279,25	331,15	0,51	3,25
X	289,55	275,55	331,15	0,50	2,98
XI	285,35	271,35	331,15	0,49	2,72
XII	281,75	267,75	331,15	0,48	2,52

Prema detaljnijoj analizi zaključeno je da preliminarno odabrana dizalica topline zrak – voda zadovoljava potrebne uvjete te se zadržava kao izbor generatora topline za ovaj sustav.

### 9.3.2. Pogonska pumpa

Uz odabranu dizalicu topline zrak – voda kao pogonska pumpa koristi se Wilo Maxo 65/0,5-9 prikazanu slikama 9.4 i 9.5.



*Slika 9.4. Pogonska pumpa sustava*

#### Hidraulički podatci

Maksimalni radni tlak $P_N$	16 bar
Visina dobave $H_{max}$	12,1 m
Količina protoka $Q_{max}$	42,1 m <sup>3</sup> /h
Minimalna visina dotoka pri 50 °C	5 m
Minimalna visina dotoka pri 95 °C	9 m
Minimalna visina dotoka pri 110 °C	23 m
Min. temperatura medija $T_{min}$	-10 °C
Maks. temperatura medija $T_{max}$	110 °C
Temperatura okoline min. $T_{min}$	-10 °C
Maks. temperatura okoline $T_{max}$	40 °C

#### Podatci o motoru

Indeks energetske učinkovitosti (EEI)	≤0,17
Mrežni priključak	1–230 V ±10%, 50/60 Hz
Nazivna struja $I_N$	0,2 A
Nazivna struja $I_N$	2,47 A
Nazivna snaga $P_2$	470 W
Broj okretaja min. $n_{min}$	650 1/min
Broj okretaja maks. $n_{max}$	3200 1/min
Potrošnja struje (min) $P_{1 min}$	10 W
Potrošnja struje $P_{1 max}$	560 W
Emitiranje smetnji	EN 61800-3;2004+A1;2012 / stambeno područje (C1)
Otpornost na smetnje	EN 61800-3;2004+A1;2012 / industrijsko područje (C2)
Klasa izolacije	F
Stupanj zaštite	IPX4D
Kabelska uvodnica	5 x M16x1.5

*Slika 9.5. Podatci pogonske pumpe*

### 9.3.3. Izmjenjivač topline

Zagrijavanje bazenske vode predviđeno je vršiti putem izmjenjivača topline. U primarnom krugu izmjenjivača nalazi se ogrjevni medij sustava, a u sekundarnome bazenska voda. Bazenska voda grije se na temperaturu od 26 °C te je za njeno zagrijavanje potreban učin od 26,35 kW, kako je proračunato u poglavlju 5. Odabran je izmjenjivač topline proizvođača Zodiac, tip Heat line. Slikom 9.6 i tablicom 9.3 dan je prikaz izabranog izmjenjivača topline s njegovim radnim parametrima.



*Slika 9. 6. Bazenski izmjenjivač topline*

*Tablica 9. 3. Radni parametri izmjenjivača topline*

Snaga (primarni krug 90°C)	70	kW
Snaga (primarni krug 65 °C)	30	kW
Snaga (primarni krug 45 °C)	14	kW
Maksimalni radni tlak	2	bar
Maksimalna dopuštena temperatura	90	°C

### 9.3.4. Toplinska podstanica

Na temelju proračuna potrošnje, prikazanog u poglavlju 5 za sustav PTV-a je odabran multifunkcionalni spremnik volumena 1505 litara, koji može koristiti jedan ili više izvora

topline. Zagrijavanje potrošne tople vode putem spremnika allSTOR exclusive vrši se preko podstanice za PTV.

Odabir podstanice vrši se po principu vršne potrošnje objekta. Poznato je da su najveća potrošna mjesta za zagrijanu toplu vodu na ovom objektu tuševi, stoga je proračun vršnog opterećenja po mjestu potrošnje kako slijedi:

$$V_{PTV,v} = n_{PTV,i} \cdot V_{PTV,i} \cdot \varphi_{PTV,v} \quad (9.1)$$

gdje je:

$V_{PTV,v}$  – vršna potrošnja PTV-a, l/min

$n_{PTV,i}$  – broj mjesta najveće potrošnje

$V_{PTV,i}$  – prosječna potrošnja na mjestu najveće potrošnje, l/min,  $V_{PTV,i} = 7$  l/min

$\varphi_{PTV,v}$  – faktor istovremenosti vršne potrošnje za mjesto najveće potrošnje,  $\varphi_{PTV,v} = 0,8$ .

Prema izrazu (9.1) izračunato je da je vršna potrošnja za odabir toplinske podstanice 128,8 l/min. Prema proračunatoj vršnoj potrošnji potrebno je u projektirani sustav postaviti 4 podstanice za pripremu potrošne tople vode aquaFLOW VPM 40/45/2 W. Prikaz kaskadnog spoja odabranih podstanica za PTV i njenih tehničkih podataka dan je slikama 9.7 i 9.8.



*Slika 9.7. Kaskadni spoj podstanica za PTV [21]*

Tehnički podaci	Jedinica	VPM 40/45/2 W
Specifični protok vode (izlazna tem. 45°C/ temp. Spremnika 60°C)	lit/min	40
Specifični protok vode (izlazna tem. 45°C/ temp. Spremnika 65°C)	lit/min	45
Dopušteni radni nadtak na strani grijanja	bar	3
Dopušteni radni nadtak na strani vode	bar	10
Područje namještanja temperature tople vode	°C	40 - 60
Visina	mm	750
Širina	mm	450
Dubina prilikom montaže na međuspremnik	mm	275
Priključak hladne/tople vode		DN20, G 3/4
Priključak grijanja		DN25, G 1
Težina (prazan/pun)	kg	19

*Slika 9.8. Tehnički podatci podstanice za PTV [21]*

## 10. SPECIFIKACIJA MATERIJALA, OPREME I RADOVA

1. Dizalica topline zrak – voda proizvođača Viessmann, tip: Vitocal 200-A PRO A064, maksimalnog učina grijanja na zagrijavanju pitke vode 89,8 kW.

DOBAVA

kom	1		á		=	
-----	---	--	---	--	---	--

TROŠKOVI UGRADNJE

kompl	1		á		=	
-------	---	--	---	--	---	--

UKUPNO

			á		=	
--	--	--	---	--	---	--

2. Set za hidraulički priključak dizalice topline Vitocal 200-A PRO A064, proizvođača Viessmann, dimenzije DN 50.

DOBAVA

Kompl	1		á		=	
-------	---	--	---	--	---	--

TROŠKOVI UGRADNJE

Kompl	1		á		=	
-------	---	--	---	--	---	--

UKUPNO

			á		=	
--	--	--	---	--	---	--

3. Troputni ventil za dizalicu topline Vitocal 200-A PRO A064, proizvođača Viessmann, dimenzije DN 50.

DOBAVA

Kom	1		á		=	
-----	---	--	---	--	---	--

TROŠKOVI UGRADNJE

Kompl	1		á		=	
-------	---	--	---	--	---	--

UKUPNO

			á		=	
--	--	--	---	--	---	--

4. Motorizirana kuglasta slavina za dizalicu topline Vitocal 200-A PRO A064, proizvođača Viessmann, dimenzije DN 50.

DOBAVA

Kom	1		á		=	
-----	---	--	---	--	---	--

TROŠKOVI UGRADNJE

Kompl	1		á		=	
-------	---	--	---	--	---	--

UKUPNO

			á		=	
--	--	--	---	--	---	--

5. Pogonska pumpa sustava proizvođača Wilo, tip: Stratos Maxo 65/0,5-9 PN 16

DOBAVA

Kom	1		á		=	
-----	---	--	---	--	---	--

TROŠKOVI UGRADNJE

Kompl	1		á		=	
-------	---	--	---	--	---	--

UKUPNO

			á		=	
--	--	--	---	--	---	--

6. Multifunkcionalni spremnik ogrjevne vode proizvođača Vaillant, tip: allSTOR exclusive VPS 1500/3, ukupne zapremine 1505 l.

DOBAVA

kom	1		á		=	
-----	---	--	---	--	---	--

TROŠKOVI UGRADNJE

kompl	1		á		=	
-------	---	--	---	--	---	--

UKUPNO

			á		=	
--	--	--	---	--	---	--

7. Podstanica za potrošnu toplu vodu proizvođača Vaillant, tip: aguaFLOW exclusive VPM40/45/2 W

DOBAVA

kom	4		á		=	
-----	---	--	---	--	---	--

TROŠKOVI UGRADNJE

kompl	1		á		=	
-------	---	--	---	--	---	--

UKUPNO

			á		=	
--	--	--	---	--	---	--



8. Set za kaskadno spajanje podstanica za potrošnu toplu vodu aquaFLOW exclusive VPM/2 W, proizvođača Vaillant

DOBAVA

kompl	4		á		=	
-------	---	--	---	--	---	--

TROŠKOVI UGRADNJE

kompl	1		á		=	
-------	---	--	---	--	---	--

UKUPNO

			á		=	
--	--	--	---	--	---	--

9. Izmjenjivač topline proizvođača Zodiac, tip: Heat Line, snage s primarom 90°C 70 kW

DOBAVA

kom	1		á		=	
-----	---	--	---	--	---	--

TROŠKOVI UGRADNJE

kompl	1		á		=	
-------	---	--	---	--	---	--

UKUPNO

			á		=	
--	--	--	---	--	---	--

## 11. ZAKLJUČAK

Za obrazovni kompleks u Tkonu provedena je energetska – ekonomska analiza sustava za zagrijavanje potrošne tople i bazenske vode temeljenih na obnovljivim izvorima energije.

Idejna rješenja sustava temeljila su se na osnovnim generatorima dizalicama topline koje kao izvor topline koriste zrak i vodu. Odabrane su dizalice topline proizvođača Viessmann: dizalica topline zrak – voda tip: Vitocal 200-A PRO i dizalica topline voda – voda tip: Vitocal 300-G WW. Odabrana dizalica topline zrak – voda ukupnog je učina na zagrijavanju tople vode 89,8 kW, dok je za dizalicu topline voda – voda, za pokrivanje potrebne energije odabran kaskadni par WW 145 + BWS 121 ukupnog učina 80,1 kW. Sva razmatrana rješenja kao način prijenosa topline na bazensku vodu koriste bazenski izmjenjivač nominalne snage 30 kW za temperaturu primarnog kruga 65°C. Za sustave bez potpore sunčanih kolektora koristi se multifunkcionalni spremnik tople vode ukupne zapremine 1505 proizvođača Vaillant, tip allSTOR exclusive VPS 1500, a za sustave sa sunčanim kolektorima isti spremnik veće dimenzije ukupne zapremine 1917 l, tip allSTOR exclusive VPS. Zagrijavanje potrošne tople vode vrši se protočnim principom putem podstanica za toplu vodu aguaFLOW VPM/40/45/2 W, a sustav sunčanih kolektora na spremnik je povezan preko solarne podstanice auroFLOW exclusive VPM 60/2 S.

Energetska analiza sustava temeljila se na potrebnoj isporučenoj i primarnoj energiji. Svi razmatrani sustavi za svoj rad koriste električnu energiju. Analizom je utvrđeno da sustavi sa dizalicom topline voda voda trebaju manje energije za rad od sustava s dizalicom topline zrak voda, a primjena sunčanih kolektora kao pomoćnog izvora energije smanjuje potrebnu energiju za više od 30 %. Prema energetske kriteriju, dakle, najprihvatljiviji bi bio sustav dizalice topline voda voda s pomoćnim sustavom sunčanih kolektora.

Ekonomskom analizom sustava utvrđeno je da, s obzirom da svi sustavi koriste kao energent električnu energiju, najveći utjecaj ima investicijski trošak pojedinog sustava. Prema ekonomskom kriteriju najprihvatljiviji bi bio sustav dizalice zrak voda bez pomoćnog sustava.

S obzirom na rezultate energetske i ekonomske analize kao optimalan sustav za zagrijavanje potrošne tople i bazenske vode odabran je sustav dizalice topline zrak voda te je isti razrađen u obliku glavnoga projekta.

## LITERATURA

- [1] International Energy Agency : *World Energy Outlook 2022*
- [2] Strategija energetskega razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, Narodne novine broj: 25/2020 (6.3.2020.)
- [3] Wolf, I. : Podloge za predavanja i vježbe iz kolegija „Obnovljivi izvori energije“
- [4] Lj. Majdandžić: *Obnovljivi izvori energije*, 2008.
- [5] B. Labudović: *Osnove primjene biomase*, Zagreb, 2012.
- [6] B. Labudović: *Osnove primjene dizalica topline*, Zagreb, 2009.
- [7] Recknagel, Šprenger, Šramek, Čeperković; *Grejanje i klimatizacija*, Vrnjačka Banja, 2004.
- [8] Halasz B., Galović A., Boras I.: *Toplinske tablice*, Zagreb, 2010.
- [9] B. Labudović: *Osnove tehnike instalacija vode i plina*, 2. izdanje, Zagreb, 2012.
- [10] Viessmann: *Upute za projektiranje – zagrijavanje pitke vode*, 2023.
- [11] Viessmann: *Upute za projektiranje – Vitosol, Pločasti i vakuumski cijevni kolektori*, 2021.
- [12] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije, 2016.
- [13] <https://meteo.hr/>
- [14] Viessmann: *Upute za projektiranje – Vitocal, Toplinska crpka zrak / voda za vanjsko postavljanje, Monoblok izvedba*, 2024.
- [15] Vaillant: *Projektantska podloga i cjenik*, 2022.
- [16] Lj. Majdandžić: *Solarni sustavi*, 2010.
- [17] T. Maruševac: *Diplomski rad – Primjena dizalice topline voda – voda pri rekonstrukciji hotela Hvar*, 2017.
- [18] Viessmann: *Upute za projektiranje – Vitocal 300-G, Toplinska crpka rasolina / voda i voda - voda*, 2010.
- [19] <https://mpgi.gov.hr/>

[20] *Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama*, 2015.

[21] Vaillant: *Projektantska podloga: Spremnici*, 2019.

## POPIS OZNAKA

$\varepsilon_{gr}$  – faktor grijanja

$Q_{gr}$  – dobivena korisna toplina na kondenzatoru, J

$W_{el}$  – pogonska energija kompresora, J

$W$  – količina ishlapljene vode, kg/s

$\varepsilon$  – koeficijent ishlapljivanja, 20 kg/m<sup>2</sup>h

$p_s$  – tlak zasićenja vodene pare, hPa

$p_d$  – parcijalni tlak vodene pare, hPa

$A_{baz}$  – površina bazena, m<sup>2</sup>

$\phi_{\sigma}$  – toplinski tok odveden ishlapljivanjem, kW

$r$  – toplina potrebna za ishlapljivanje vode pri temperaturi graničnog sloja vode, kJ/kg

$\phi_T$  – toplinski tok odveden provođenjem, kW

$k_{baz}$  – koeficijent prolaza topline,  $k_{baz} = 0,7$  W/m<sup>2</sup>K

$A_{opl}$  – oplošje bazena, m<sup>2</sup>

$\vartheta_{baz}$  – temperatura bazenske vode, °C

$\vartheta_p$  – pretpostavljena temperatura prostorije ispod bazena, °C

$\phi_{svj}$  – potrebni toplinski učin, kW

$m_{svj}$  – protok svježe vode, kg/s

$c_{pv}$  – specifični toplinski kapacitet vode, kJ/kgK

$\vartheta_{svj}$  – pretpostavljena temperatura svježe vode, °C

$\phi_{baz,d}$  – dnevna potrošnja energije za grijanje bazena, kWh

$t_{rv}$  – radno vrijeme bazena, h

$t_d$  – broj sati u danu, 24 h

$Q_{PTV}$  – toplina potrebna za zagrijavanje PTV-a, kWh

$n$  – broj korisnika

$m_{PTV,n}$  – dnevna potrošnja PTV-a po korisniku, l

$\vartheta_{PTV}$  – temperatura PTV-a u spremniku, °C

$\vartheta_{HV}$  – temperatura hladne vode na ulazu u spremnik, °C

$V_S$  – potreban volumen spremnika topline, l

$n_{i,ptv}$  – broj mjesta s istim zahtjevom potrošnje

$Q_{n,max}$  – toplina potrebna za zagrijavanje PTV-a na određenom mjestu potrošnje, kWh  
 $\varphi_n$  – faktor istovremenosti korištenja mjesta s istim zahtjevom potrošnje  
 $\varphi_2$  – faktor načina života (kategorije hotela)  
 $Z_A$  – vrijeme zagrijavanja, h  
 $Z_B$  – trajanje najveće potrebe tople vode, h  
 $\vartheta_A$  – akumulacijska temperatura spremnika, °C  
 $a$  – koeficijent napunjenosti spremnika  
 $\eta$  – stupanj djelovanja kolektora  
 $\eta_0$  – optički stupanj učina,  
 $k_1, k_2$  – koeficijenti gubitaka topline sa kolektora u njegovu okolinu uslijed provođenja, zračenja i konvekcije kolektora  
 $\Delta\vartheta$  – razlika temperature između srednje temperature kolektora i temperature okolnog zraka  
 $\dot{G}$  – intenzitet sunčeva zračenja, W/m<sup>2</sup>  
 $G$  – dnevno dozračena energija na površinu kolektora, Wh/m<sup>2</sup>  
 $t$  – vrijeme efektivnog sijanja Sunca, h  
 $Q_{max}$  – maksimalna akumulirana energija u prethodnom satu, kWh  
 $Q_{PTV}$  – potrebna toplina za zagrijavanje PTV-a, kWh  
 $Q_{isk}$  – iskorištena toplina sunčeva zračenja, kWh  
 $T_{uk}$  – ukupan godišnji trošak rada sustava, EUR  
 $T_k$  – trošak kapitala, EUR  
 $T_{el}$  – trošak energenta, za ovaj slučaj to je električna energija, EUR  
 $T_{od}$  – trošak održavanja sustava, EUR  
 $T_i$  – investicijski trošak sustava  
 $r$  – faktor ostatka vrijednosti opreme  
 $t$  – radni vijek opreme u godinama  
 $n$  – broj godine analize sustava (period razmatranja)  
 $k_i$  – faktor inflacije  
 $i$  – godišnja stopa inflacije, %  
 $q$  – faktor kamate  
 $k_a$  – prosječna godišnja kamatna stopa, %

$q_{k,uk}$  – ukupni faktor kamate koji definira godišnji utjecaj ekonomskih čimbenika na cijenu rada sustava

$T_{el,1}$  – trošak električne energije u prvoj godini rada sustava, EUR

$q_{dis}$  – diskontni faktor

$p_0$  – udio godišnjih troškova održavanja, izražen kao % ukupne investicijske cijene sustava

## POPIS TABLICA

Tablica 5. 1. Smjernice za određivanje specifične potrebe PTV-a [M1] .....	21
Tablica 5. 2. Zahtjev potrošnje na potrošnom mjestu [M3] .....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
Tablica 5. 3. Proračun volumena spremnika PTV prema mjestu potrošnje .....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
Tablica 5. 4. Proračun potrebne površine sunčanih kolektora za PTV .....	25
Tablica 5. 5. Proračun potrebne površine sunčanih kolektora za bazen.....	25
Tablica 5. 6. Pokrivenost potrebne energije za PTV .....	26
Tablica 5. 7. Pokrivenost potrebne energije za bazen .....	27
Tablica 5. 8. Akumulirana toplina spremnika PTV-a .....	28
Tablica 6. 1. Temperature mora za meteorološku postaju Zadar .....	34
Tablica 7. 1. Definirane zone objekta.....	43
Tablica 7. 2. Godišnja potrebna energija za zagrijavanje potrošne tople i bazenske vode .....	45
Tablica 7. 3. Energetska analiza Idejnog rješenja 1 .....	48
Tablica 7. 4. Energetska analiza Idejnog rješenja 2 .....	48
Tablica 7. 5. Energetska analiza Idejnog rješenja 3 .....	48
Tablica 7. 6. Energetska analiza Idejnog rješenja 4 .....	49
Tablica 8. 1. Investicijski troškovi .....	50
Tablica 8. 2. Troškovi pojedinog sustava u prvog godini korištenja .....	52
Tablica 9. 1. Radne temperature dizalice topline .....	58
Tablica 9. 2. Izračun stvarnog faktora grijanja (COP) .....	59
Tablica 9. 3. Radni parametri izmjenjivača topline.....	61



## POPIS SLIKA

Slika 2. 1. Podjela prirodnih oblika energije [M4].....	4
Slika 3. 1. Načelo rada dizalice topline [2] .....	9
Slika 3. 2. Shema dizalice topline s kolektorskim poljem [2] .....	11
Slika 3. 3. Shema dizalice topline za iskorištavanje topline podzemnih voda [2] .....	12
Slika 3. 4. Shema dizalice topline za iskorištavanje topline okolnog zraka [2] .....	13
Slika 4. 1. Sjeveroistočno pročelje glavne zgrade.....	14
Slika 4. 2. Sjeverozapadno pročelje glavne zgrade .....	14
Slika 4. 3. Jugozapadno pročelje glavne zgrade.....	15
Slika 4. 4. Jugoistočno pročelje glavne zgrade .....	15
Slika 4. 5. Istočno pročelje depadanse .....	15
Slika 4. 6. Sjeverno pročelje depadanse .....	16
Slika 4. 7. Zapadno pročelje depadanse .....	16
Slika 4. 8. Južno pročelje depadanse .....	16
Slika 6. 1. Presjek dizalice topline zrak-voda [M8] .....	29
Slika 6. 2. Tehnički podatci za dizalicu topline zrak-voda [M8] .....	30
Slika 6. 3. Multifunkcionalni spremnik za PTV [M11] .....	30
Slika 6. 4. Tehnički podatci multifunkcionalnog spremnika PTV-a [M11].....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
Slika 6. 5. Shema sustava dizalice topline zrak – voda.....	31
Slika 6. 6. Presjek sunčanog kolektora [M9].....	32
Slika 6. 7. Tehnički podatci sunčanog kolektora [M7] .....	32
Slika 6. 8. Shema sustava dizalice topline zrak – voda sa sunčanim kolektorima.....	33
Slika 6. 9. Tlocrtni prikaz položaja usisnog i ispusnog cjevovoda .....	34
Slika 6. 10. Presjek dizalice voda - voda.....	35
Slika 6. 11. Tehnički podatci dizalice topline voda – voda.....	36
Slika 6. 12. Shema sustava dizalice topline voda – voda.....	36
Slika 6. 13. Shema sustava dizalice topline voda - voda sa sunčanim kolektorima.....	37

Slika 7. 1. Osnovni klimatološki podatci za Zadar .....	38
Slika 7. 2. Sunčevo zračenje za Zadar.....	39
Slika 7. 3. Tlocrt podruma glavne zgrade .....	39
Slika 7. 4. Tlocrt prizemlja glavne zgrade.....	40
Slika 7. 5. Tlocrt prvog kata glavne zgrade.....	40
Slika 7. 6. Tlocrt drugog kata glavne zgrade.....	41
Slika 7. 7. Tlocrt prizemlja depadanse .....	41
Slika 7. 8. Tlocrt prvog kata depadanse .....	42
Slika 7. 9. Tlocrt drugog kata depadanse .....	42
Slika 7. 10. Građevni dijelovi Depadanse .....	43
Slika 7. 11. Građevni dijelovi Glavne zgrade .....	43
Slika 7. 12. Građevni dijelovi Bazena.....	44
Slika 7. 13. Otvori Depadanse.....	44
Slika 7. 14. Otvori Glavne zgrade .....	44
Slika 7. 15. Otvori Bazena .....	44
Slika 7. 16. Termotehnički sustav za grijanje PTV [M13].....	46
Slika 7. 17. Energetski tokovi u zgradi s termotehničkim sustavom [M13] .....	47
Slika 7. 18. Grafički prikaz energetske usporedbe idejnih rješenja .....	49
Slika 8. 1. Analiza troškova sustava u vremenskom razdoblju od 10 godina .....	52
Slika 9. 1. Radno područje dizalice topline u ovisnosti o vanjskoj temperaturi zraka [M8] .....	57
Slika 9. 2. Učin dizalice topline u ovisnosti o vanjskoj temperaturi zraka [M8] .....	57
Slika 9. 3. COP dizalice topline u ovisnosti o vanjskoj temperaturi zraka [M8] .....	58
Slika 9. 4. Pogonska pumpa sustava .....	60
Slika 9. 5. Podatci pogonske pumpe .....	60
Slika 9. 6. Bazenski izmjenjivač topline .....	61
Slika 9. 7. Kaskadni spoj podstanica za PTV.....	62
Slika 9. 8. Tehnički podatci podstanice za PTV.....	63

## SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

Ovaj rad temelji se na primjeni obnovljivih izvora energije za potrebne zagrijavanja potrošne tople i bazenske vode u obrazovnom kompleksu na Tkonu. Definirana su četiri idejna sustava prema generatorima koji se koriste za pokrivanje potrebne toplinske energije: dizalica topline zrak – voda, dizalica topline voda – voda, dizalica topline zrak – voda sa sunčanim kolektorima i dizalica topline voda – voda sa sunčanim kolektorima. Energetsko – ekonomskom analizom odabrano je optimalno rješenje sustava a to je sustav dizalice topline zrak – voda. Odabrani sustav je definiran u obliku glavnoga projekta.

**Ključne riječi:** obnovljivi izvori energije, dizalica topline zrak voda, dizalica topline voda – voda, morska voda, sunčani kolektori

## ABSTRACT AND KEYWORDS

This thesis is based on the application of renewable energy sources for the heating of domestic hot water and pool water in the educational complex in Tkon. Four conceptual systems have been defined based on the generators used to cover the required thermal energy: air-to-water heat pump, water-to-water heat pump, air-to-water heat pump with solar collectors, and water-to-water heat pump with solar collectors. An energy-economic analysis was conducted to select the optimal system, which is the air-to-water heat pump system. The chosen system is defined in the form of a main project.

**Keywords:** renewable energy sources, air-to-water heat pump, water-to-water heat pump, sea water, solar collectors

## **POPIS PRILOGA**

1. Situacija
2. Funkcionalna shema spajanja
3. Dispozicija strojarnice