

Parametri rada dizalice topline zrak-voda u relevantnom okruženju

Mraz, Iva

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:209378>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-12**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Iva Mraz

Zagreb, 2024. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo, dipl. Ing.

Studentica:

Iva Mraz

Zagreb, 2024. godina

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru prof.dr.sc. Vladimiru Soldu na pruženoj prilici i savjetima pri izradi ovoga rada.

Zahvaljujem se svim kolegama koji su bili tu tijekom ovih godina, a posebno kolegicama Petri Rožman, Ani Križanić i Maji Kos s kojima sam provela mnoge sate te koje su učinile dane na fakultetu ljepšima.

Zahvaljujem se Udruzi SUPEUS i svim njezinim članovima koji su mi pružili podršku i bodrili me u zadnjim trenucima ove utrke.

Zahvaljujem se svim svojim prijateljicama, poznanicima i trenericama iz Salsanda koju su studirali sa mnom, odnosno slušali jadanja o mom studiranju, a posebno svom dečku Matiji koji je došao kao šećer na kraju ovog studija.

Najviše se zahvaljujem svojoj obitelji, ocu Ivanu i majci Suzani, mome mlađem bratu Ivanu i baki Zorici, pokojnom dedi Francu i Alfonzu i pokojnoj baki Ljubici koji su nas napustili u zadnjih nekoliko godina. Hvala im što su vjerovali u mene, što su bili podrška i rame za plakanje, što su se odricali i što su mi pomogli najviše što su znali i mogli.

Iva Mraz



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
 Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove.

Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 24 – 06 / 1	
Ur.broj: 15 – 24 –	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Iva Mraz** JMBAG: **0035220272**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Parametri rada dizalice topline zrak-voda u relevantnom okruženju**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Operating parameters of air-to-water heat pump performance in relevant environment**

Opis zadatka:

Tržišta diljem Europske unije posljednjih nekoliko godina bilježe progresivan rast broja instaliranih dizalica topline. Tome su najviše pridonijele različite direktive, planovi i standardi kao što su nZEB zahtjevi za nove zgrade, Europski zeleni plan, a u posljednje vrijeme i REPower plan. Ulaganja u jačanje gospodarskih subjekata te razvoj i istraživanje novih proizvoda nameću se kao nužnost. IRI 2 projekt *Razvoj dizalice topline zrak-voda s prirodnom radnom tvari i naprednim sustavom odleđivanja isparivača* usmjeren je u navedenom smjeru.

U sklopu projekta, na FSB-u je u relevantnom okruženju izvedeno pilot postrojenje dizalice topline zrak - voda koje služi za ispitivanje prototipova razvijenih dizalica topline. Pilot postrojenje koristi se za cjelogodišnje kondicioniranje tri učionice i dva ureda ukupne površine 200 m². Sustav je opremljen PLC-om koji prikuplja veliki broj fizikalnih veličina i omogućuje praćenje procesnih parametara, energetskih tokova i ocjenu učinkovitosti sustava.

U radu je potrebno provesti mjerenja na ispitnoj dizalici topline u režimu grijanja.

Rad treba sadržavati:

1. Opis izvedenog sustava s dizalicom topline i primijenjene mjerne opreme.
2. Obradu rezultata mjerenja i učinkovitosti dizalice topline u režimu grijanja kondicioniranih prostora FSB-a.
3. Izračun projektnog toplinskog i rashladnog opterećenja predmetnih prostora nakon energetske obnove Sjeverne zgrade Fakulteta.
4. Prijedlog mjera za učinkovitiji rad dizalice topline.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2023.

Datum predaje rada:

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.
 2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.
 3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024.
 2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.
 3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	IV
POPIS TABLICA.....	V
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	VI
POPIS OZNAKA	VII
POPIS KRATICA	VIII
SAŽETAK.....	IX
SUMMARY	X
1. UVOD	1
1.1. Način rada dizalice topline	1
1.2. Tržište dizalica topline	3
1.3. Prirodne radne tvari.....	4
2. ISPITNA LINIJA DIZALICE TOPLINE ZRAK-VODA U RELEVANTNOM OKRUŽENJU	6
2.1. Mjerni elementi ispitne linije	7
2.2. Shema ispitne linije dizalice topline.....	9
3. ANALIZA MJERENIH PODATAKA NA ISPITNOJ LINIJE.....	10
3.1. Mjereni rezultati rada dizalice topline na dan 6.4.2023.	10
3.2. Mjereni rezultati rada dizalice topline na dan 7.4.2023.	14
4. PRORAČUN TOPLINSKOG I RASHLADNOG OPTEREĆENJA.....	18
4.1. Proračun projektnih toplinskih gubitaka prema normi EN 12831	20
4.2. Proračun projektnih toplinskih dobitaka prema VDI 2078	22
4.3. Rezultati proračuna za režim grijanja i hlađenja	23
5. MJERE ZA UČINKOVITIJI RAD DIZALICE TOPLINE	27
6. ZAKLJUČAK	28

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz osnovnih elemenata dizalice topline [4]	2
Slika 2. Prikaz procesa dizalice topline u T-s (lijevo) i h-s dijagramu (desno) [6].....	2
Slika 3. Prikaz rasta prodaje DT po godinama [8]	4
Slika 4. Usporedba COP-a (lijevo) i ukupnog kapaciteta grijanja (desno) u odnosu na vanjsku temperaturu kod korištenja zamjenske radne tvari R290 [11]	5
Slika 5. Vanjska jedinice dizalice topline	6
Slika 6. Prikaz upravljačkog ormara dizalice topline s PLC-om	6
Slika 7. Pumpne grupe	7
Slika 8. Prikaz spremnika vode uz DT	7
Slika 9. Temperaturne sonde uronjene u čahure	8
Slika 10. Ultrazvučni protokomjer	8
Slika 11. Mjerila toplinske energije	8
Slika 12. Shema ispitne linije dizalice topline s osnovnim točkama procesa	9
Slika 13. Proces ispitne dizalice topline na propan(R290) u log p-h dijagramu [14]	10
Slika 14. Raspodjela vanjske temperature zraka	11
Slika 15. Prikaz temperature isparavanja i temperature kondenzacije	11
Slika 16. Tlak isparavanja i kondenzacije	12
Slika 17. Temperatura RT nakon kompresije i temperatura pothlađenja.....	12
Slika 18. Temperatura vode na ulazu i izlazu iz kondenzatora	12
Slika 19. Raspodjela topline na kondenzatoru i snage kompresora	13
Slika 20. Raspodjela toplinskog množitelja(COP).....	13
Slika 21. Prikaz rada kompresora.....	13
Slika 22. Prikaz rada ventilatora	14
Slika 23. Raspodjela vanjske temperature zraka	15
Slika 24. Tlak isparavanja i kondenzacije	15
Slika 25. Temperatura isparavanja i kondenzacije	15
Slika 26. Temperatura RT nakon kompresije i temperatura pothlađenja.....	16
Slika 27, Temperatura vode na ulazu i izlazu iz kondenzatora	16
Slika 28. Raspodjela topline na kondenzatoru i snage kompresora	16
Slika 29. Raspodjela toplinskog množitelja	17
Slika 30. Prikaz rada kompresora.....	17
Slika 31. Usporedba koeficijenata prolaza topline građevnih elemenata.....	19
Slika 32. Tlocrt niskog prizemlja (NP) dilatacije A.....	21
Slika 33. Tlocrt visokog prizemlja (VP) dilatacije A.....	21
Slika 34. Uvećan tlocrt NP i raspored promatranih prostorija(žuto).....	22
Slika 35. Uvećan tlocrt VP i označene prostorije (žuto)	22
Slika 36. Ukupna potrebna energija prije i nakon obnove	26
Slika 37. Specifična potrebna energija po m ²	26
Slika 38. a)Prikaz "on-off" regulacije rada dizalice topline; b) Prikaz kontinuirane regulacije rada dizalice topline [12].....	27

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz broja prodanih dizalica topline po godinama [7]:	3
Tablica 2. Prikaz ekološki prihvatljivih radnih tvari[10]	5
Tablica 3. Mjerni parametri dizalice topline	7
Tablica 4. Koeficijenti prolaza topline građevinskih elemenata i stolarije	18
Tablica 5. Karakteristike Vanjskog zida (VZ3)	19
Tablica 6. Karakteristike Unutarnjeg zida (Z7).....	19
Tablica 7. Karakteristike Stropa iznad negrijanog prostora (M3).....	20
Tablica 8. Raspored i površine projektiranih prostorija	21
Tablica 9. Prikaz unutarnjih dobitaka prostorija	23
Tablica 10. Potrebe za grijanjem i hlađenjem po prostorijama	23
Tablica 11. Rezultati proračuna za grijanje po prostorijama.....	24
Tablica 12. Unutarnji dobitci po prostoriji	25
Tablica 13. Vanjski dobitci topline po prostoriji.....	25
Tablica 14. Raspodjela najvećih toplinskih dobitaka	25
Tablica 15. Ukupna opterećenje za grijanje i hlađenje prije i nakon obnove	26

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A	m^2	Površina
L	m	Dužina
n	h^{-1}	Broj izmjena zraka u jednom satu u prostoriji
n_{50}	h^{-1}	Broj izmjena zraka pri razlici tlaka od 50 Pa
p_{isp}	Pa	Tlak isparavanja
p_{kond}	Pa	Tlak kondenzacije
T_u	$^{\circ}C$	Temperatura zraka u prostoriji
T_o	$^{\circ}C$	Temperatura vanjskog zraka
Q_{hl}	kWh	Potrebna toplinska energija za hlađenje
Q_{gr}	kWh	Potrebna toplinska energija za grijanje
Φ_n	W	Normirano toplinsko opterećenje
U	W/m^2K	Koeficijent prolaza topline
Φ_{hl}	W	Ukupni projektni toplinski gubici
Φ_{RH}	W	Projektni toplinski gubici zbog ponovnog zagrijavanja
Φ_T	W	Ukupni transmisijski gubici
Φ_V	W	Gubici zbog prirodne infiltracije
$\Phi_{V,min}$	W	Gubici zbog najmanje potrebne izmjene zraka u prostoriji
$\Phi_{V,su}$	W	Gubici zbog mehaničkog dovoda zraka
λ	$W/(mK)$	Koeficijent toplinske vodljivosti

POPIS KRATICA

GWP	Potencijal globalnog zagrijavanja (<i>eng. Global Warming Potencial</i>)
ODP	Potencijal razgradnje ozona (<i>eng. Ozone Depleting Potencial</i>)
HCFC	Klorofluorougljikovodici
HFC	Fluorirani ugljikovodici
EHPA	Europsko udruženje za dizalice topline (<i>eng. European Heat Pump Assosiation</i>)
DT	Dizalica topline
RT	Radna tvar
COP	Faktor grijanja (<i>eng. Coefficient of Performance</i>)
EU	Europska Unija
FSB	Fakultet strojarstva i brodogradnje
MGIPU	Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja
EV	Ekspanzijski ventil
R290	Propan
NT	Nisko prizemlje
VT	Visoko prizemlje

SAŽETAK

U sklopu istraživanja IRI 2 projekta pod nazivom *Razvoj dizalice topline zrak voda s prirodnom radnom tvari i naprednim sustavom odleđivanja isparivača* (KK.01.2.1.02.0132), sufinanciranog sredstvima iz Europskog fonda za regionalni razvoj, ERDF, instalirana je prototipna dizalica topline u sjevernu zgradu Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu.

Navedena dizalica projektirana je za kondicioniranje fakultetskog prostora površine 200 m², čime je osigurano ispitivanje dizalice topline u relevantnom okruženju. Ispitna linija opremljena je brojnim senzorima i upravljačkom opremom za što točnije i bolje praćenje parametara procesa. Eksperimentalnim mjerenjem nekoliko uzastopnih dana prikupljeni su brojni podaci te su na temelju toga izneseni bitni parametri za praćenje rada dizalice topline. Prikupljeni podaci svrstani su u kategorije, obrađeni te grafički prikazani za bolje praćenje parametara u radu.

Budući da je Sjeverna zgrada u međuvremenu obnovljena, a Fakultet zajedno sa dizalicom izmješten, bilo je potrebno provesti ponovni proračun projektnog toplinskog opterećenja prema normi HRN EN 12831 i proračun rashladnog opterećenja prema normi VDI 2078. Proračun je proveden u programu IntegraCad. Novo projektno toplinsko opterećenje iznosi 15,1 kW, dok je za sezonu hlađenja rashladno opterećenje 12,6 kW.

Ključne riječi: dizalica topline zrak – voda, mjereni rezultati u relevantnom okruženju, propan kao prirodna radna tvar

SUMMARY

As part of the research of the IRI 2 project entitled *Development of an air-water heat pump with a natural working substance and an advanced evaporator system* (KK.01.2.1.02.0132), co-financed by funds from the European Regional Development Fund, ERDF, a prototype heat pump was installed in one of the buildings at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture Zagreb, University of Zagreb.

This heat pump was designed to condition the faculty area of 200 m², which ensured the testing of the heat pump in the relevant environment. The test setup is equipped with numerous sensors and control system for the most accurate and better parameter monitoring. Numerous data collected through experimental measurements over several consecutive days were processed and presented, with essential parameters for monitoring the heat pump's operation highlighted. The collected data were categorized, processed and graphically displayed for better monitoring parameters of operation.

Following the renovation of North building and relocation of the Faculty, it was necessary to recalculate the heat load according to the HRN EN 12831 standard and the cooling load according to the VDI 2078 standard. The calculation was executed in the IntegraCad. The new calculated heat load is 15,1 kW, while the cooling season requires 12,6 kW.

Key words: air-water heat pump, measured results in a relevant environment, propane as a natural working substance

1. UVOD

Posljednjih godina, smanjenje ugljičnog otiska postala je jedna od glavnih tema Europske unije. Uz sve prijašnje konvencije i regulative, svakim danom dolaze nove koje nastoje okrenuti Europsku uniju prema održivim i "zelenijim" rješenjima. Prije svega potrebno je znati odakle te emisije dolaze te kolike su, a zatim postaviti ciljeve i razviti rješenje kojima se te brojke mogu smanjiti. EU je ispunila svoj cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova od 20% do 2020., u usporedbi s razinama iz 1990. godine. Međutim, ispunjavanje ciljeva za 2030. i nakon, zahtijeva udvostručenje godišnjeg smanjenja emisija stakleničkih plinova postignutog između 2005. i 2020.

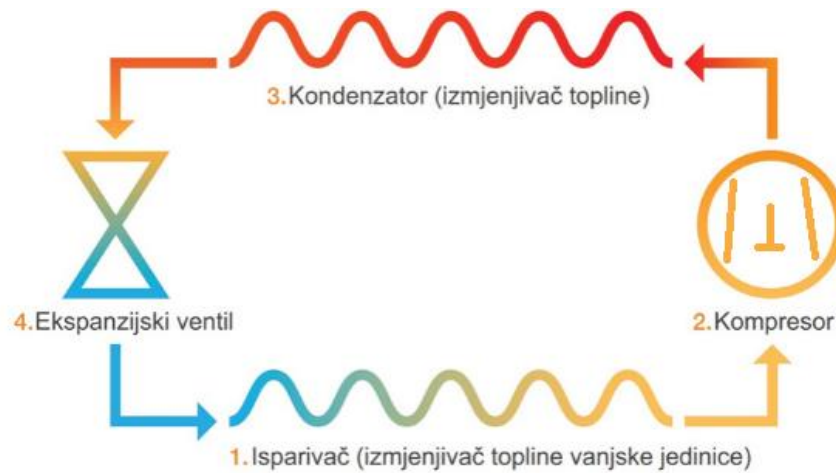
Grijanje i hlađenje čini polovicu konačne potrošnje energije u EU. Budući da je energija koja se koristi za grijanje značajna, dekarbonizacija grijanja je ključna. Rješenja za uštedu energije i uvođenje učinkovitih, obnovljivih sustava grijanja i hlađenja postoje i moraju se uvoditi brže. Povijesna nastojanja da se fosilna goriva zamijene obnovljivim izvorima energije za grijanje i hlađenje bila su prespora i usmjerena na korištenje biomase. Međutim, u zadnje vrijeme brže se razvijaju drugi obnovljivi izvori energije za grijanje i hlađenje, poput dizalica topline. To pokazuje da sada imamo više mogućnosti za dekarbonizaciju grijanja i hlađenja u zgradama i industriji nego prije [1]. Preciznije, potrošnja energije za zgrade iznosi 42%, od čega 67% troši kućanstvo, a 33% građevine javne namjene. Upravo zbog toga bitan je razvitak pristupačnih i efikasnih izvora topline za kućanstva. Također, trenutne potrebe za hlađenjem stambenog prostora iznose ispod 1% ukupne energije na razini EU, no s obzirom na zagrijavanje i češće klimatske ekstreme, izgledno je da će ta potreba rasti te dizalice topline mogu pružiti cjelogodišnji komfor. Udio energije iz obnovljivih izvora za grijanje i hlađenje u 2022. na razini EU bio je 25%. Na prvom mjestu Švedska s 69%, dok je najlošija Irska sa 6%. Hrvatska je imala udio od 37%, što ju stavlja u bolju polovicu EU, točnije na 10. mjestu [2]. Pri primjeni specifičnih tehnologija, poput dizalica topline, propisuju se dodatne regulative. F-gas regulativa, koja obuhvaća sve radne tvari za rashladne sustave, odnosno danas i dizalice topline za grijanje/hlađenje propisuje uz ODP=0 (eng. *Ozone Depletion Potential*) i što manji GWP (eng. *Global Warming Potential*) [3].

1.1. Način rada dizalice topline

Dizalice topline uređaji su koji svoj rad temelje na lijevokretnom kružnom procesu te omogućuju prijenos topline sa spremnika niže temperature na spremnik više temperature. Da

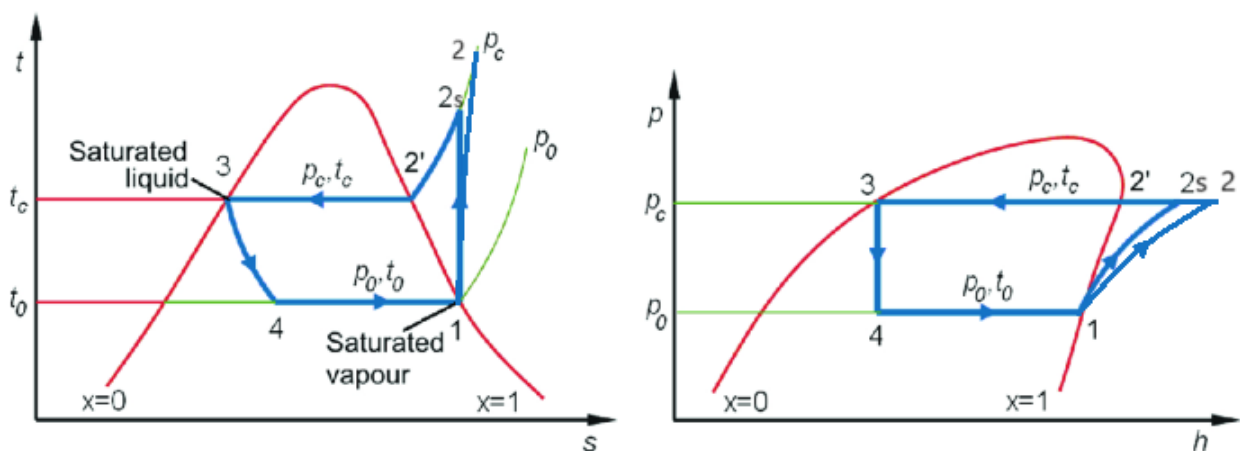
bi proces bio moguć potrebno je unijeti dodatnu energiju u sustav, budući da bez toga proces ne bi bio moguć.

Radna tvar (RT) struji unutar osnovnih komponenti sustava: kompresora, kondenzatora, ekspanzijskog ventila i isparivača (Slika 1.).



Slika 1. Prikaz osnovnih elemenata dizalice topline [4]

U isparivaču radna tvar isparava preuzimajući toplinu s toplinskog izvora. Izlaskom iz isparivača, pregrijana RT ulazi u kompresor. U kompresoru se komprimira te povećava tlak s tlaka isparavanja na tlak kondenzacije. Povećanjem tlaka RT-i povećava se energetska razina čime se omogućuje prijelaz topline između RT i toplinskog spremnika. Strujanjem RT kroz kondenzator predaje se latentna toplina toplinskom ponoru te tako RT kondenzira. Pothlađena kapljevina RT zatim struji do ekspanzijskog ventila (EV) gdje se prigušuje tlak na tlak isparavanja te RT ulazi u stanje mokre pare [5]. Za lakše praćenje parametara procesa, proces prikazujemo u T - s i h - s dijagramu (Slika 2.).



Slika 2. Prikaz procesa dizalice topline u T - s (lijevo) i h - s dijagramu (desno) [6]

U režimu grijanja isparivač preuzima toplinu okoliša te se toplina kondenzacije predaje prostoru preko ogrjevnog tijela, uz već spomenuti rad kompresora. Za hlađenje ljeti moguć je obrnut proces, u kojem je isparivač u prostoriji te preuzima višak topline i izbacuje ju preko kondenzatora u okoliš. Zbog toga kažemo da dizalica topline ima mogućnost prekretnog rada, tj. može raditi i kao ogrjevni i kao rashladni izvor.

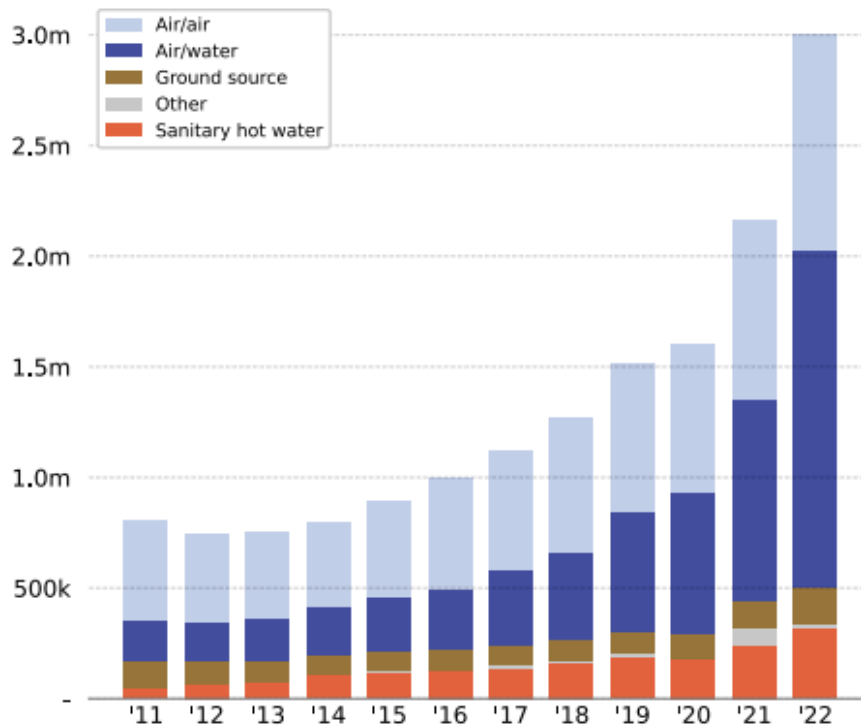
1.2. Tržište dizalica topline

Pregled kretanja trenda dizalica topline posljednjih godina u Europi. Od 2017. broj DT (dizalica topline) u EU do 2022. se udvostručio. Rast po godinama koji je iznjela EHPA (European Heat Pump Assosiation) u Statističkom izvješću europskog tržišta DT za 2023. godinu slijedi u Tablici 1.:

Tablica 1. Prikaz broja prodanih dizalica topline po godinama [7]:

Godina	Nove dizalice topline	Ukupno €
2005	446 037	1.10 mil.
2006	502 965	1.60 mil.
2007	572 840	2.17 mil.
2008	804 457	2.98 mil.
2009	731 482	3.71 mil.
2010	788 605	4.50 mil.
2011	802 660	5.30 mil.
2012	743 883	6.03 mil.
2013	757 142	6.78 mil.
2014	791 538	7.55 mil.
2015	892 809	8.43 mil.
2016	999 682	9.41 mil.
2017	1.12 mil.	10.50 mil.
2018	1.27 mil.	11.74 mil.
2019	1.51 mil.	13.21 mil.
2020	1.60 mil.	14.77 mil.
2021	2.16 mil.	16.87 mil.
2022	3.00 mil.	19.79 mil.
2023	3.02 mil	23.96 mil

Osim samog rasta tržišta dizalica topline, bitno je promotriti udjele pojedine vrste DT na tržištu (Slika 3.).



Slika 3. Prikaz rasta prodaje DT po godinama [8]

Dizalica topline zrak-voda zauzima najveći postotak tržišta danas. Jedan od najvećih prednosti takvog sustava je opća prisutnost jednog od medija, odnosno zraka. Dok za dizalice topline na tlo ili vodu treba procjena dostupnosti, kvalitete i dozvola za korištenje resursa, za zrak to nije potrebno. Osim toga lakše i dostupnije je održavanje te sama ugradnja. Za postavljenje dizalica topline zrak-voda nisu potrebne posebne pripreme bušotina ili terena, osim minimalne pripreme postolja. Iako DT zrak-voda ima mnoge prednosti, jedan od glavnih nedostataka je promjenjiva vanjska temperatura zraka, zbog čega varira odnosno pada efikasnost samog uređaja. Jedan od dodatnih problema su nemogućnost rada pri izuzetno niskim vanjskim temperaturama zraka zbog pojave leda na isparivaču, tj. pada kapaciteta. Zbog toga ostaje pitanje kako odabrati DT i treba li raditi u monovalentnom ili bivalentnom režimu rada.

1.3. Prirodne radne tvari

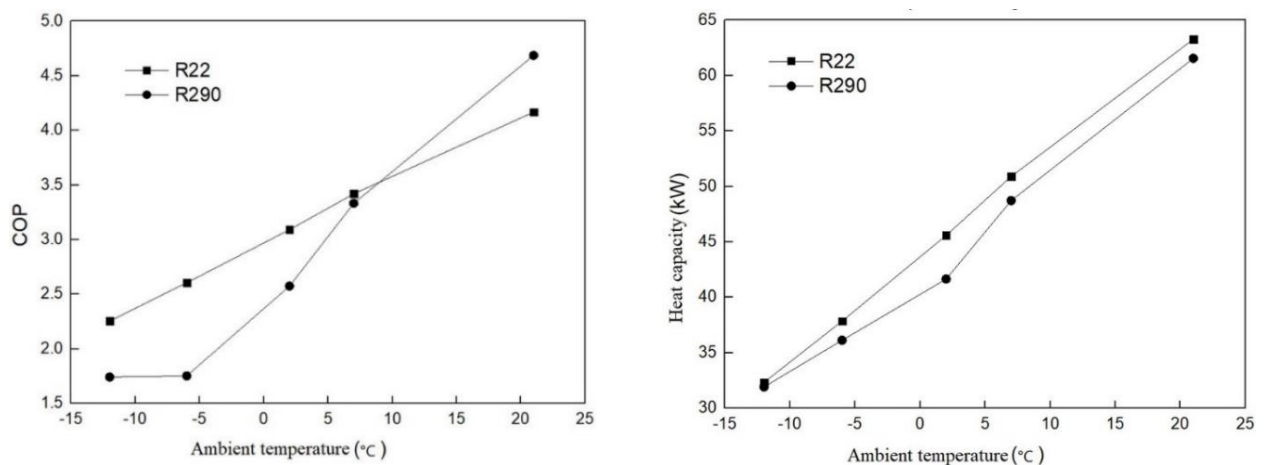
Budući da je utvrđen negativan učinak stakleničkih plinova (ugljikov dioksid, metan, dušikov oksid te fluorirani plinovi) na Zemljinu atmosferu, Europske regulative kontinuirano pokušavaju smanjiti ispuštanje istih.[9] Glavna ideja je smanjiti i ograničiti upotrebu HCFC-a

(klorofluorouglikovodici) te HFC-a (fluorirani ugljikovodici) te se okrenuti radnim tvarima s manjom vrijednosti GWP-a . Prvotni kriterij za promjenu radnih tvari bio je ODP , potencijal razgradnje ozona, odnosno koliki je utjecaj na ozonski omotač. Fluorirani ugljikovodici (HFC) ne sadrže klor te kao takvi ne razaraju ozon te imaju ODP=0. Sljedeći kriterij za odabir radnih tvari (RT) je GWP, potencijal globalnog zagrijavanja te ima referentnu vrijednost u odnosu na djelovanje CO₂ (R744) koji se stvara u najvećim količinama te ima GWP=1 [7]. Zbog toga krajnji cilj je gdje god je moguće, primjena prirodnih radnih tvari čiji GWP je znatno niži u odnosu na standardne RT koje se koriste u rashladnoj tehnici. Prikaz nekih prirodnih tvari i njihov GWP prikazan je u Tablici 2.

Tablica 2. Prikaz ekološki prihvatljivih radnih tvari[10]

RADNA TVAR	ZAMJENA ZA	GWP ₁₀₀	PRIMJENA	NAPOMENA
R600a	R12,R123a	3	Kućanski aparati	Zapaljiva,Eksplozivna
R290	R22	3	DT, rashladnici kapljevine	Zapaljiva
R744		1	Kaskadni rashladni uređaji	Previsok tlak,Tkr niska
R717	R22	0	Industrijsko hlađenje	Otrovna

Propan je radna tvar koja pripada u skupinu ugljikovodika HC te ima dobra termofizikalna i ekološka svojstva. Spada u kategoriju A3, jako zapaljivo, nisko toksična. Temperatura zapaljenja je 470°C, a zapaljiv je ako je njegova koncentracija u zraku između 1,7 i 10,9% [12]. Budući da ima slična svojstva kao R22, pogodan je za zamjenu u rashladnim sustavima iste namjene (Slika 4.).



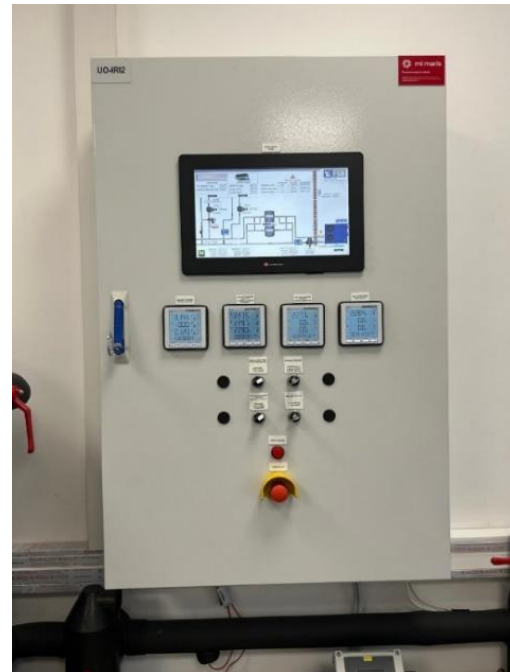
Slika 4. Usporedba COP-a (lijevo) i ukupnog kapaciteta grijanja (desno) u odnosu na vanjsku temperaturu kod korištenja zamjenske radne tvari R290 [11]

2. ISPITNA LINIJA DIZALICE TOPLINE ZRAK-VODA U RELEVANTNOM OKRUŽENJU

U sklopu projekta FSB IRI2 izveden je prototip kompaktne dizalice topline zrak-voda s prirodnom radnom tvari. Prototip DT namijenjen je cjelogodišnjem kondicioniranju tri učionice i dva ureda ukupne površine 200 m². Odabrana ogrjevno-rashladna tijela su stropni paneli i ventilokonvektori. Sustav je popraćen brojnim senzorima i mjernim uređajima za praćenje parametara procesa, tokove energije i učinkovitost sustava. Obrada podataka izvodi se putem SCADA sustava [13]. Neke od komponenti ispitne linije prikazane su na Slikama 5. do 8.



Slika 5. Vanjska jedinice dizalice topline



Slika 6. Prikaz upravljačkog ormara dizalice topline s PLC-om



Slika 7. Pumpne grupe



Slika 8. Prikaz spremnika vode uz DT

2.1. Mjerni elementi ispitne linije

Osim mjernih elemenata koji osiguravaju osnovnu regulaciju sustava, ugrađeni su dodatni mjerni elementi za bolje praćenje rada sustava. Parametri koji su bilježeni mogu se podijeliti na dio linije od spremnika vode do ogrjevnih tijela na strani grijanja i strana dizalice topline. Mjerene su temperature zraka u prostorijama, temperature polaza/povrata vode, protok vode, protok RT, temperature kružnog procesa, kao i tlak, Slika 9. i 10.. Osim toga ugrađen je kalorimetar za ukupnu potrošnju energije, Slika 11., a moguće je i pratiti uključenost pumpe i kompresora.

Tablica 3. Mjerni parametri dizalice topline

Mjerena veličina	Oznaka i mjerna jedinica	Tip
Tlak kondenzacije	p_{kond} , bar	Membranski osjetnik tlaka
Tlak isparavanja	p_{isp} , bar	Membranski osjetnik tlaka
Temperatura zraka	T_o , °C	Osjetnik vlažnosti i temperature
Temperatura pregrijanja	T_1 , °C	Otpornički termometar
Temperatura na kraju kompresije	T_2 , °C	Otpornički termometar
Temperatura na izlazu iz kondenzatora	T_3 , °C	Otpornički termometar
Temperatura nakon EV	T_4 , °C	Otpornički termometar

Toplinski učinak kondenzatora	Φ_{gr}, W	Kalorimetar
El. Snaga kompresora	P_{komp}, W	Digitalni multimetar
Postotak rada kapaciteta kompresora	$\% komp$	
Postotak rada kapaciteta ventilatora	$\% vent$	



Slika 9. Temperature sonde uronjene u čahure

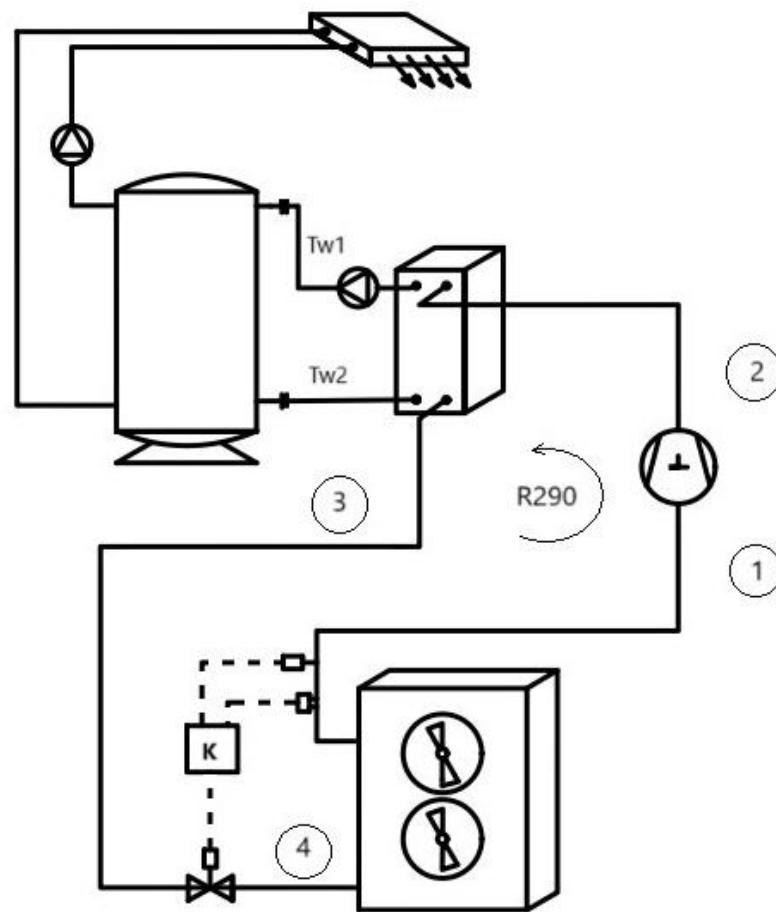


Slika 10. Ultrazvučni protokomjer



Slika 11. Mjerila toplinske energije

2.2. Shema ispitne linije dizalice topline

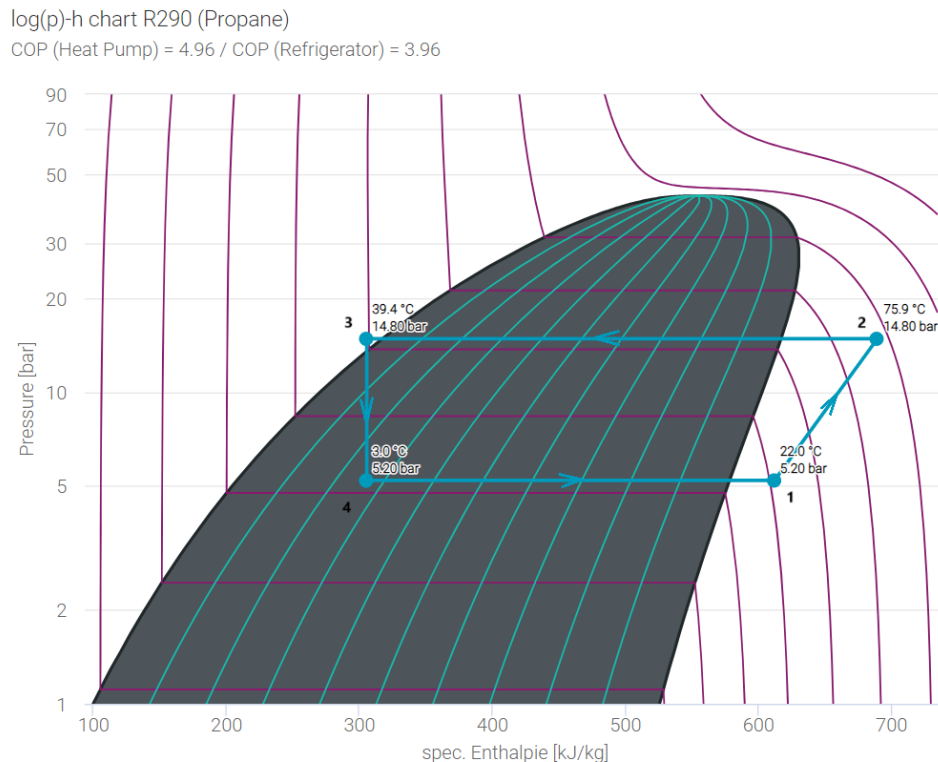


Slika 12. Shema ispitne linije dizalice topline s osnovnim točkama procesa

Na shemi ispitne linije Slika 12. početno s brojem 1 vidljiv je kompresor, zatim između 2 i 3 pločasti kondenzator te ekspanzijski ventil i nakon broja 4 isparivač s ventilatorima.

3. ANALIZA MJERENIH PODATAKA NA ISPITNOJ LINIJE

Obrađeni su mjereni podaci na ispitnoj liniji s dizalicom topline zrak-voda s prirodnom radnom tvari propan (R290) u relevantnom okruženju. Mjerenje je provedeno u režimu grijanja od 07.04. do 10.4.2023. Zbog količine podataka dobivenih mjerenjem prikazani su samo odabrani dijagrami u kojima se prate ključni parametri rada dizalice topline i toplinski množitelj (COP) za dva dana.. Karakterističan proces za odabrani režim prikazan je na Slici 13.[14]



Slika 13. Proces ispitne dizalice topline na propan(R290) u log p-h dijagramu [14]

Faktor grijanja, COP, definiran je kao omjer toplinskog toka predanog ogrjevnom mediju na kondenzatoru i dovedene snage kompresora:

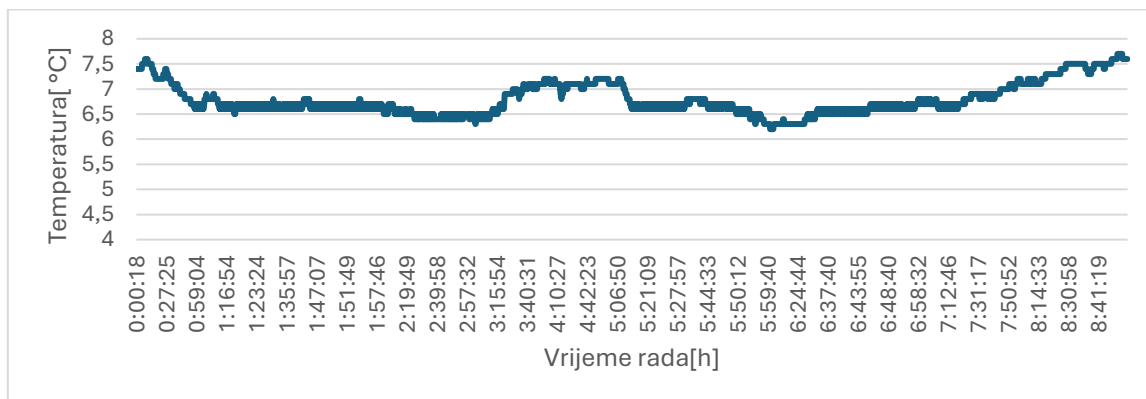
$$COP = \frac{\Phi_k}{P} \quad (1)$$

3.1. Mjereni rezultati rada dizalice topline na dan 6.4.2023.

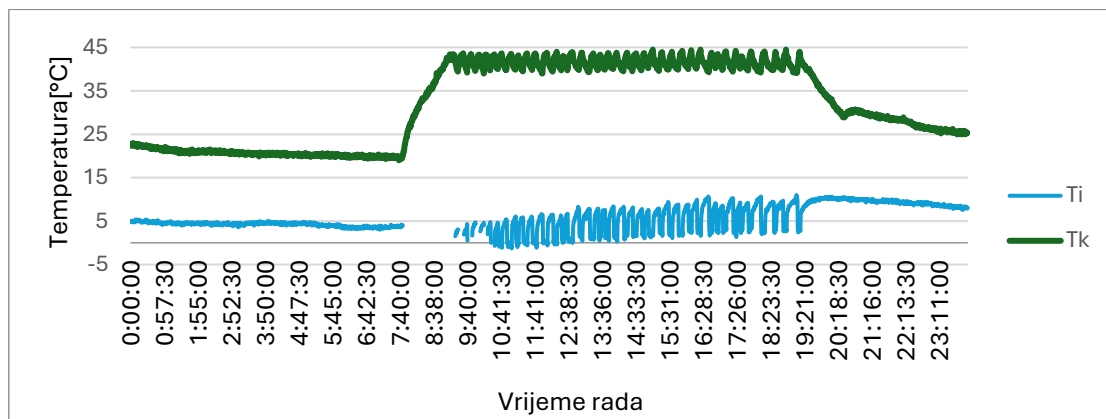
Dnevna temperatura prvoga dana bila je između 6 i 8 °C, no vanjska temperatura zraka za prvi dan zabilježena je samo u radnom vremenu, a ne u periodu cijela 24 sata. Zbog toga graf vanjske temperature zraka i temperatura nakon ekspanzijskog ventila (EV) nisu preklapljeni. Raspodjela vanjske temperature zraka u periodu rada i mjerenja DT prikazana je na Slici 14. Temperatura isparavanja kretala se između -1 i 11°C, Slika 16. , što odgovara manometarskom tlaku 3 do 6 bara, Slika 15.

Promjena temperature RT na kondenzatoru definirana je kao razlika između temperature nakon kompresije T_2 i temperature pothlađenja T_3 . Temperatura RT nakon kompresora kretala se do 80°C , a temperatura pothlađenja između 40 i 45°C . Voda na kondenzatoru postepeno je podizala temperaturu, s razlikom $1\text{-}2^\circ\text{C}$ ulaz-izlaz vode kroz kondenzator do postizanja i održavanja temperature vode u spremniku na 45°C .

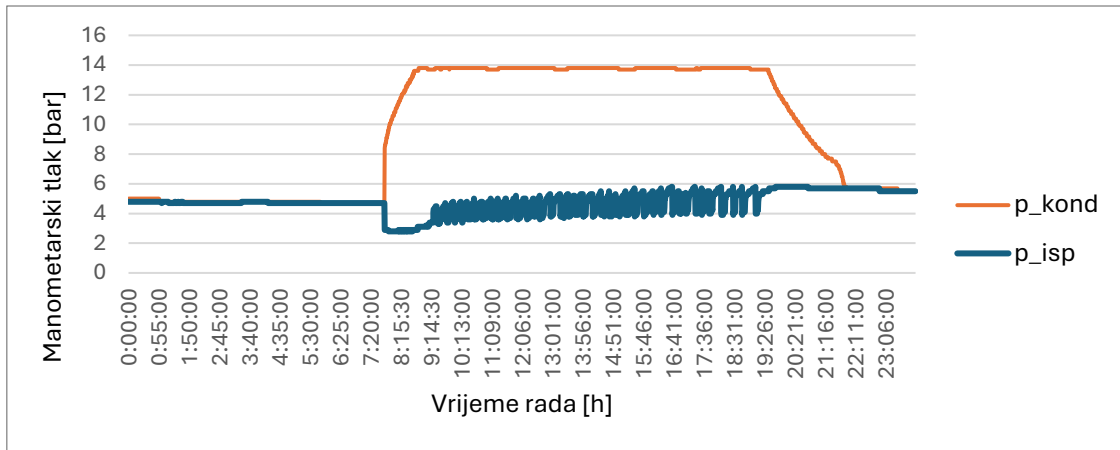
Snaga kompresora i toplina na kondenzatoru prikazani su na Slici 19. Iz Slike 19. vidljiva je relativno visoka potreba za grijanjem, iako su vanjske temperature iznad 5°C . Razlog tome svakako je predimenzioniranost, što uzrokuje izrazito isprekidani rad u djelomičnom opterećenju. Raspodjela toplinskog množitelja, COP vrijednost prikazana je na Slici 20., a prosječna vrijednost COP toga dana iznosila je $4,76$. Također, Slika 21. prikazuje na kojem postotku kapaciteta je radio kompresor u pojedinom trenutku. Osim u početnih nekoliko sati u kojima je postizao do 80% kapaciteta, čak i 160% , uglavnom je radio izrazito isprekidano na kapacitetu od 20% . Postotak kapaciteta rada kompresora promatra se u odnosu na minimalni kapacitet rada kompresora od 30% . Osim rada kompresora, prikazan je i rad ventilatora na Slici 22., koji zapravo kada radi, radi na 80% svoga kapaciteta.



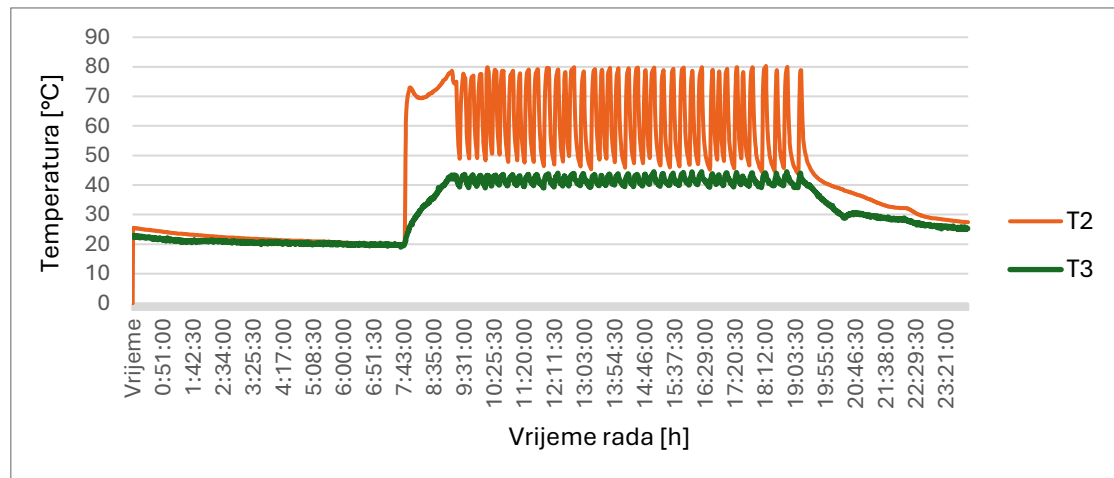
Slika 14. Raspodjela vanjske temperature zraka



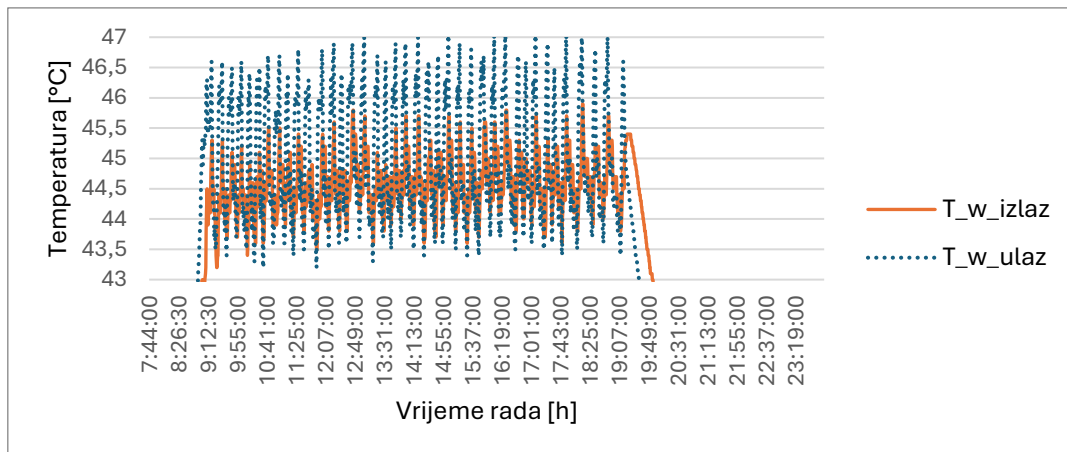
Slika 15. Prikaz temperature isparavanja i temperature kondenzacije



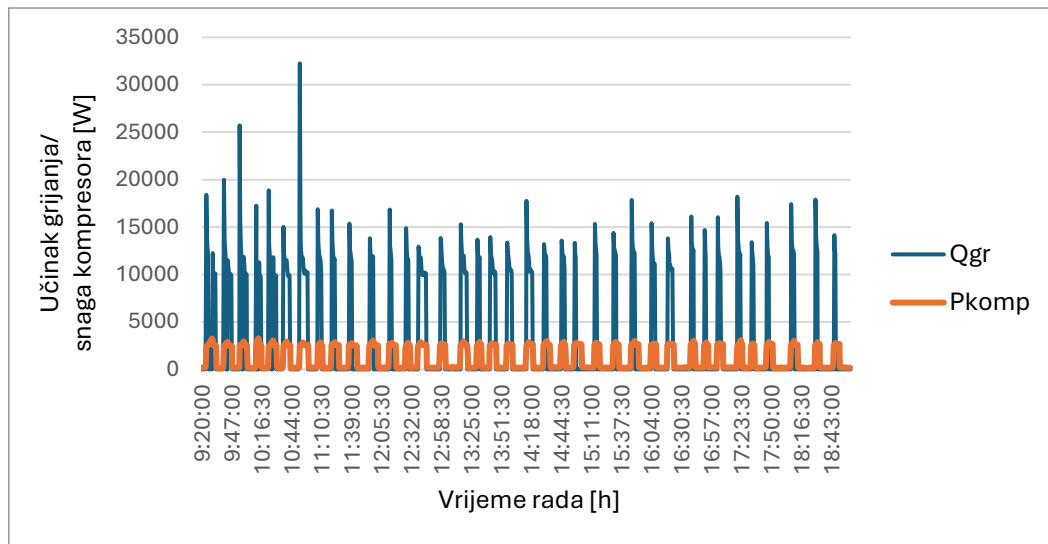
Slika 16. Tlak isparavanja i kondenzacije



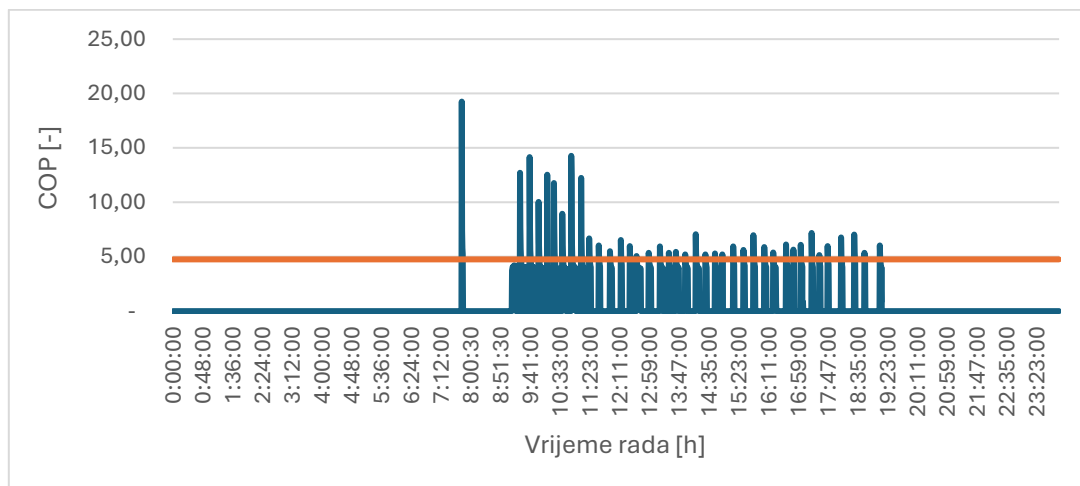
Slika 17. Temperatura RT nakon kompresije i temperatura pothlađenja



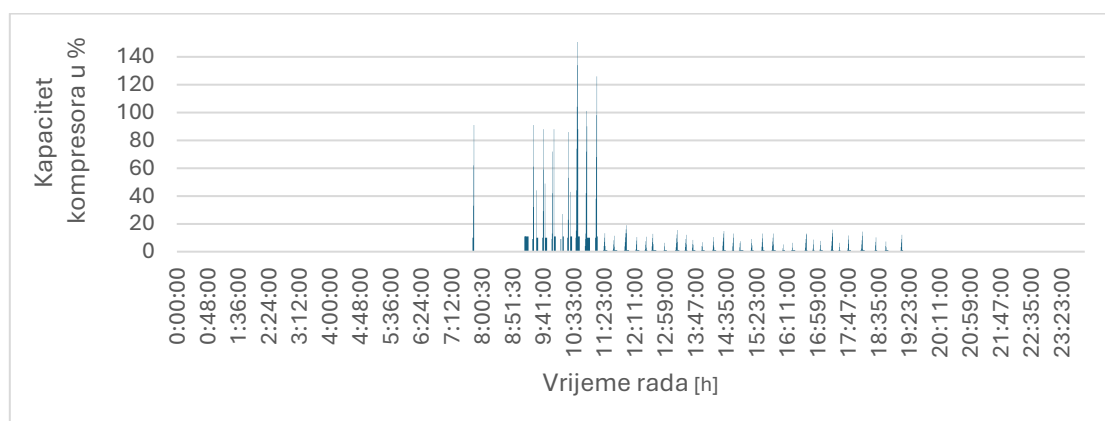
Slika 18. Temperatura vode na ulazu i izlazu iz kondenzatora



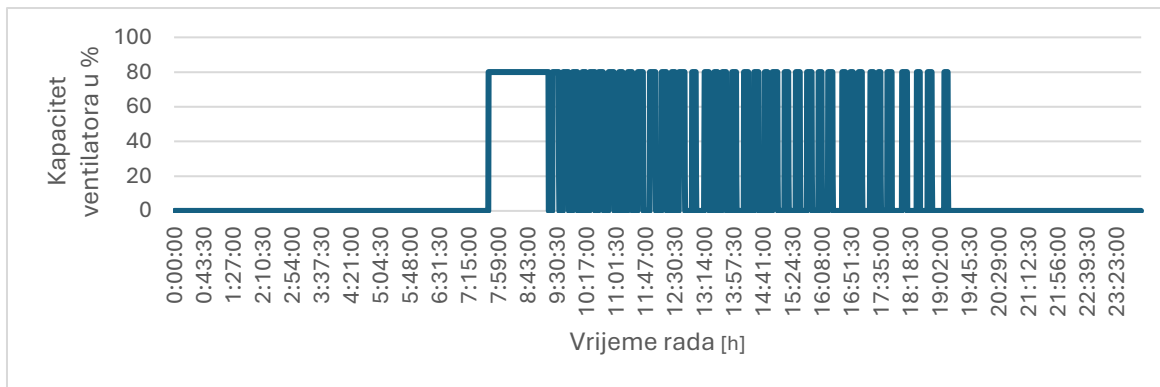
Slika 19. Raspodjela topline na kondenzatoru i snage kompresora



Slika 20. Raspodjela toplinskog množitelja(COP)



Slika 21. Prikaz rada kompresora

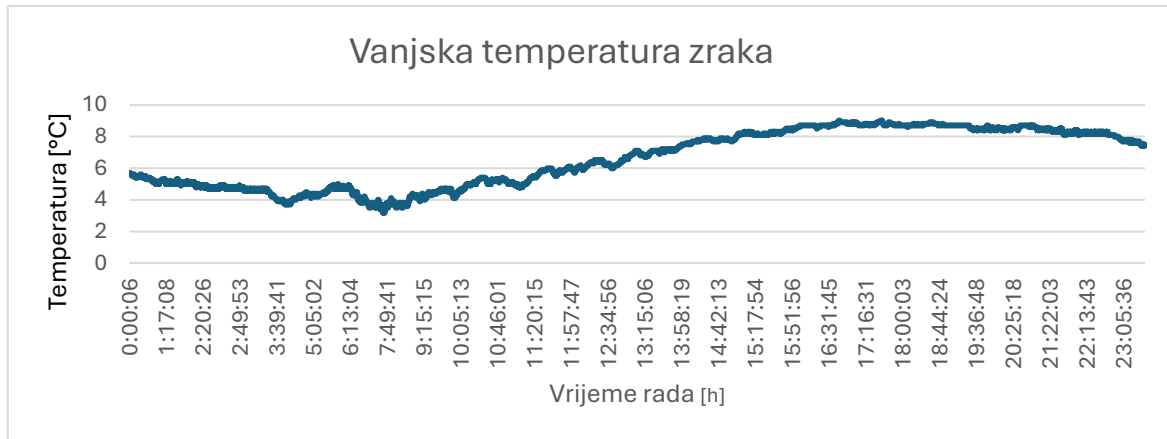


Slika 22. Prikaz rada ventilatora

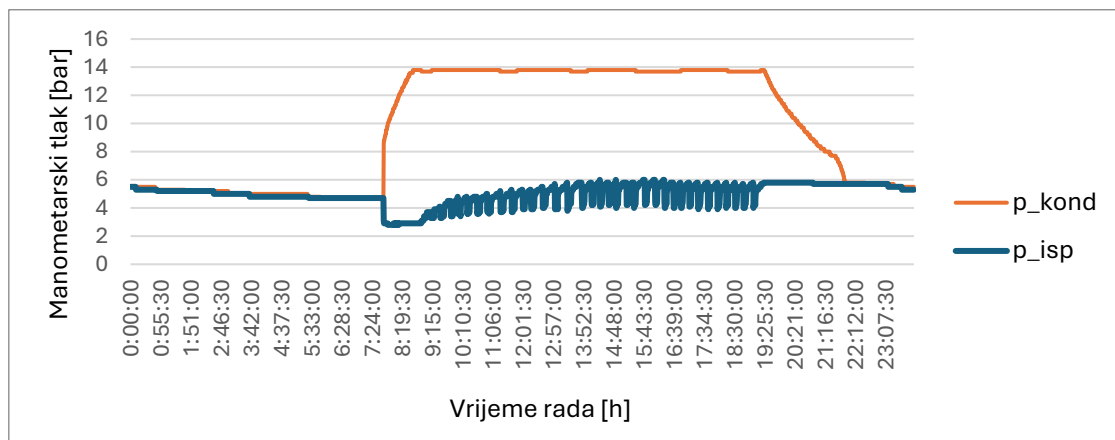
3.2. Mjereni rezultati rada dizalice topline na dan 7.4.2023.

Drugog dana mjerenja dnevna temperatura kretala se između 3,5 i 9 °C, u periodu od 24 h. Temperatura isparavanja kretala se između -5 i 10 °C, Slika 24., što odgovara tlaku isparavanja 3 do 6 bara pretlaka, odnosno 4 do 7 bara apsolutnog tlaka, Slika 25.. Temperatura kondenzacije bila je između 38 i 42 °C, odnosno tlak kondenzacije od oko 14 bara. Raspodjela temperature RT nakon kompresora i temperature pothlađenje vidljiva je na Slici 26. Voda se na kondenzatoru postepeno zagrijava do 45 °C, slično kao i prethodnog dana, Slika 27.

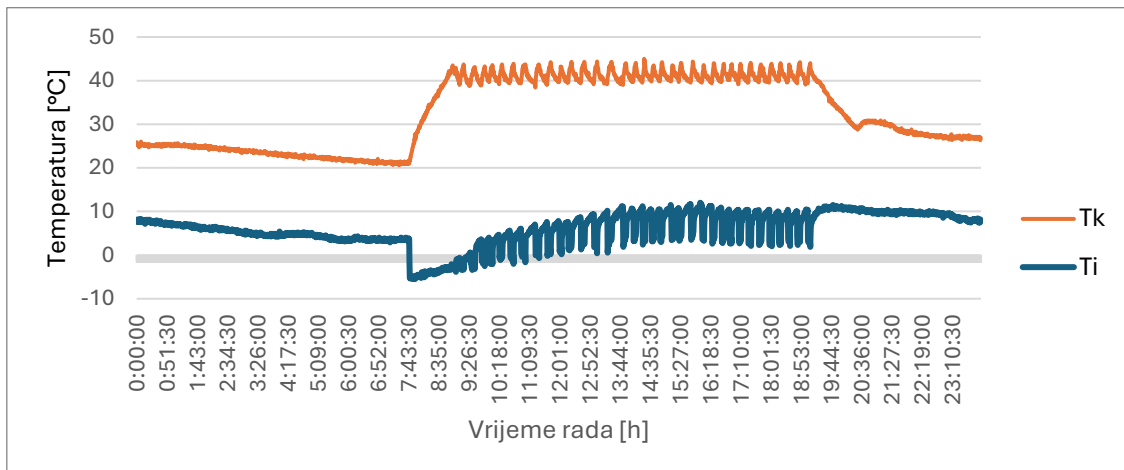
Snaga kompresora i potreban toplinski tok za grijanje, dani su na Slici 28. U početku je vidljiv kontinuiran rad kompresora te potreban toplinski tok za zagrijavanje rashlađene vode spremnika. Nakon početnog zagrijavanja, DT nastavlja raditi u isprekidanom režimu kao i prethodnog dana. Srednji COP je bio nešto niži te je iznosio 4,47, a u istom Slici 29. vidljiva je i bolja raspodjela COP u periodu mjerenja. U početku rada DT, kompresor je radio dulji period na 50% iznad minimalnog kapaciteta, dok je ostatak radio isprekidano na 10% kapaciteta, Slika 30. Zanimljivo je da osim početnog dosega od 50%, tijekom cijelog mjerenja kompresor nije radio na većem postotku kapaciteta ili prešao 100% kao prethodnog dana. Ventilator je u periodu rada radio na 80%, pa zbog sličnosti s Slikom 22. nije ponovno prikazano. Snaga potrebna za ventilator iznosi oko 3% ukupne trenutne snage DT, pa promatranje raspodjele te snage u ovoj analizi nije od prevelike važnosti.



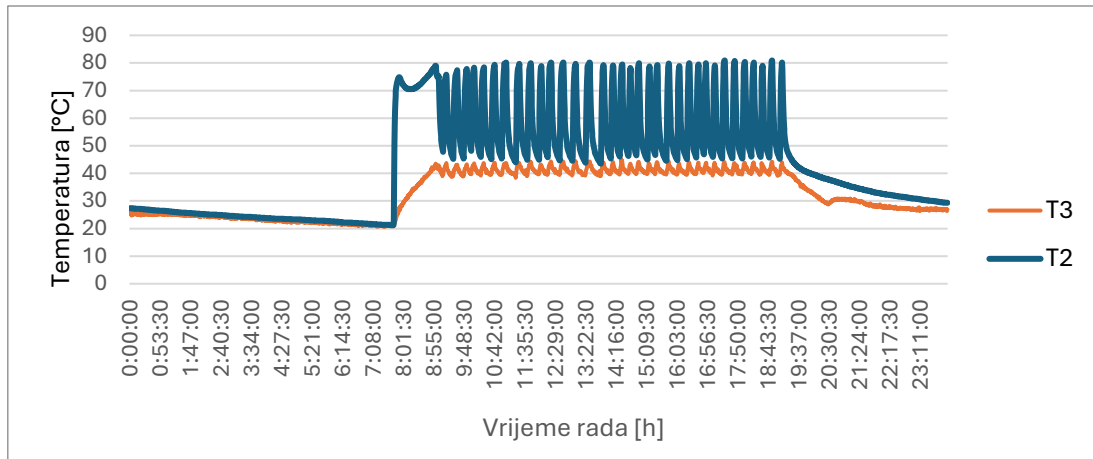
Slika 23. Raspodjela vanjske temperature zraka



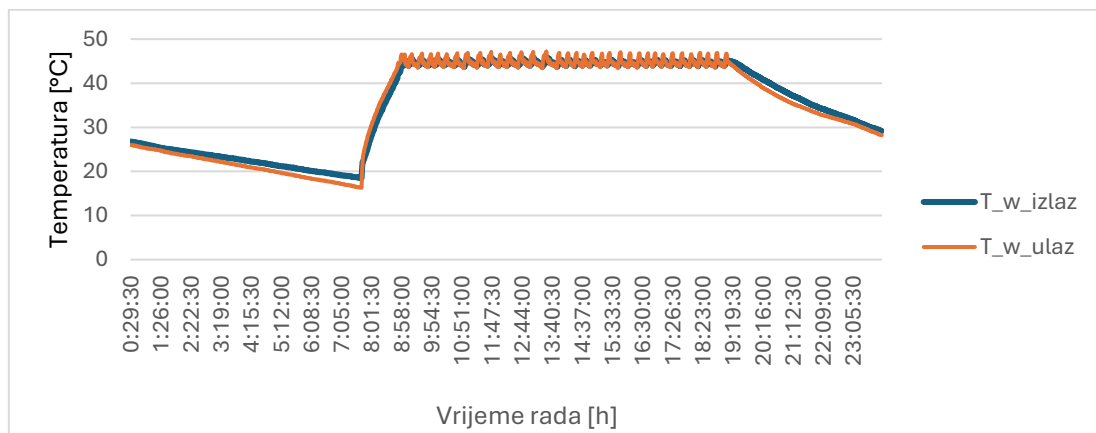
Slika 24. Tlak isparavanja i kondenzacije



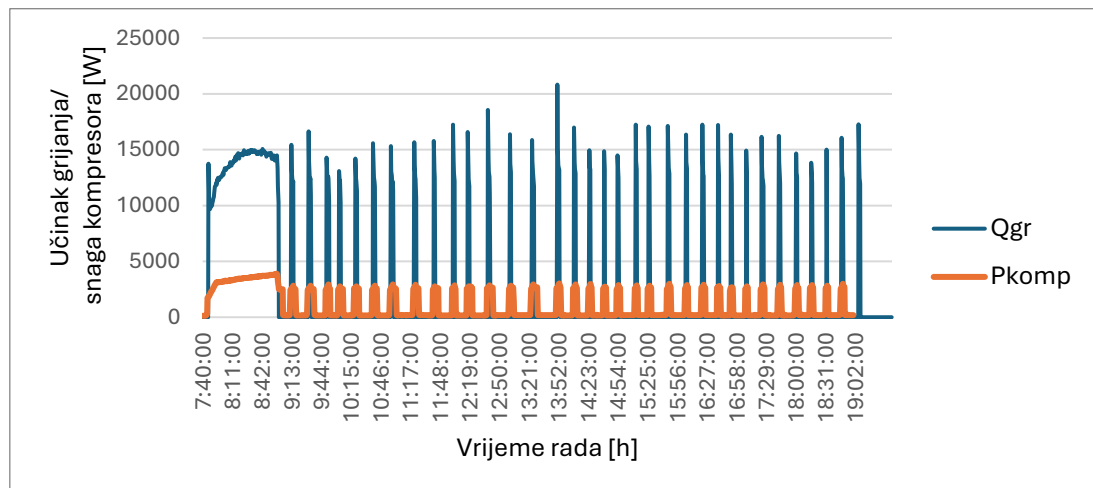
Slika 25. Temperatura isparavanja i kondenzacije



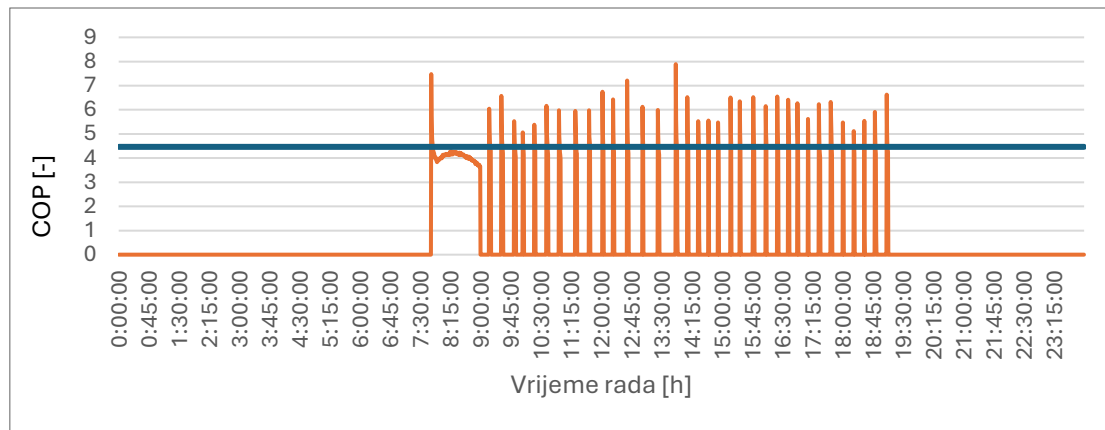
Slika 26. Temperatura RT nakon kompresije i temperatura pothlađenja



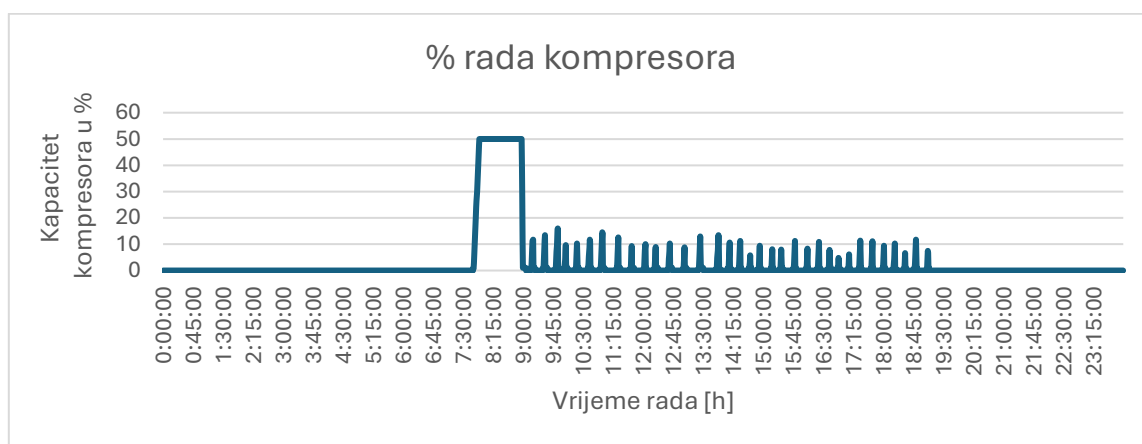
Slika 27, Temperature vode na ulazu i izlazu iz kondenzatora



Slika 28. Raspodjela topline na kondenzatoru i snage kompresora



Slika 29. Raspodjela toplinskog množitelja



Slika 30. Prikaz rada kompresora

Budući da je mjerenje provedeno nekoliko uzastopnih dana te su vanjske temperature bile približno jednake i obrađeni podaci su veoma slični, ostali grafovi nisu prikazani. Dana, 08.04.2023., provedenim mjerenjem i analizom dobiven je neznatno niži COP iznosa 4,47. te 10.04.2023. COP iznosa 4,58. Primijećen je izuzetno isprekidani rad svih dana što pokazuje neusklađenost sustava, odnosno nemogućnost bolje prilagodbe DT prema sustavu grijanja. Iz toga je zapravo vidljivo koliko je bitan odabir, odnosno kapacitet i regulacija rada dizalice topline kako bi ona što bolje mogla raditi u svim uvjetima rada.

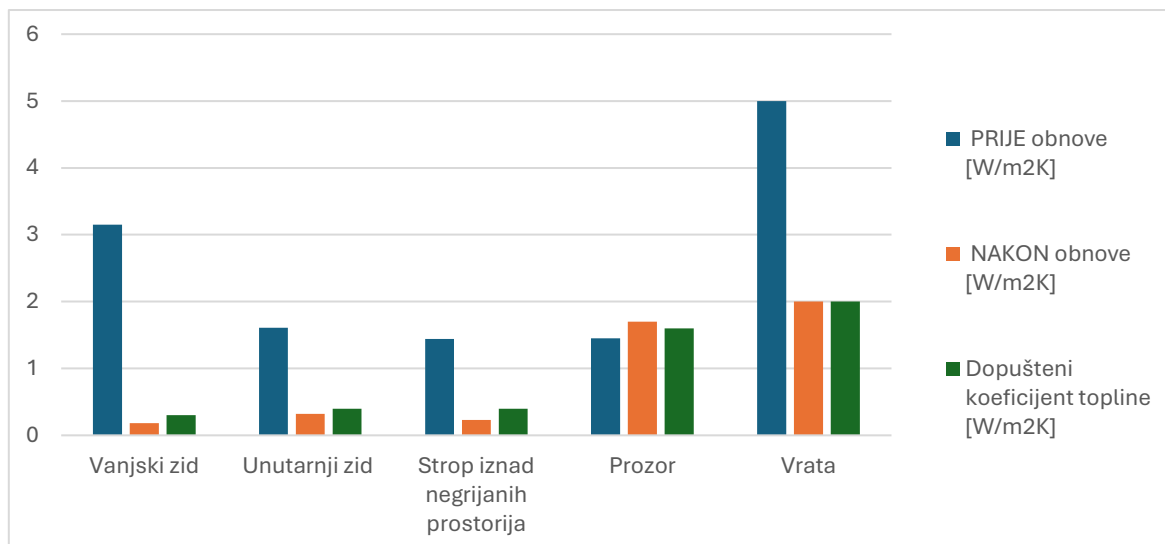
4. PRORAČUN TOPLINSKOG I RASHLADNOG OPTEREĆENJA

U svrhu ponovne instalacije ili ugradnje nove dizalice topline bilo je potrebno provesti ponovni proračun grijanja i hlađenja za prostore koji se griju i hlade dizalicom topline zraka-voda, budući da pri prvotnom proračunu Sjeverna zgrada nije bila toplinski izolirana.

Vanjska ovojnica izgrađena je od opeke debljine 25 cm, koja je prvotno žbukana, a naknadno je dobila vanjsku izolaciju. Stropnu konstrukciju čine armirano-betonska rebra i ploče od dasaka i slojem trstike i žbuke. Koeficijenti prolaza topline dani su u Tablici 4., gdje se vidi najveća razlika koeficijenta prolaza topline prije i nakon obnove na konstrukcijskom elementu vanjskog zida (VZ3) na koji je dodana toplinska izolacija mineralne vune debljine 18 cm, čime je smanjen ukupni koeficijent prolaska topline s 3,15 na 0,18 W/m²K. Također, na unutarnje zidove prema negrijanim prostorijama dodana je izolacija debljine 10 cm. Prozori su također, zamijenjeni te je njihov U koeficijenta pao s 1,7 na 1,45, što zadovoljava Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama koji propisuje dopušteni iznos U koeficijenta za prozore 1,6 W/m²K. Ulazna puna vrata s koeficijentom $U = 5$ W/m²K u promatranom dijelu zgrade zamijenjena su onima s koeficijentom $U = 2$ W/m²K. Time svi elementi nakon obnove zadovoljavaju gore spomenuti Tehnički propis. Pregled U vrijednosti prije i nakon obnove te dopuštenih vrijednosti prikazan je u Tablici 4. koja je dodatno opisana Slikom 29.

Tablica 4. Koeficijenti prolaza topline građevinskih elemenata i stolarije

Oznaka	Konstrukcija	Koeficijent prolaza topline PRIJE obnove [W/m ² K]	Koeficijent prolaza topline NAKON obnove [W/m ² K]	Dopušteni koeficijent topline [W/m ² K]
VZ3	Vanjski zid	3,15	0,18	0,30
Z7	Unutarnji zid (prema negrijanom prostoru)	1,61	0,32	0,40
M3	Strop iznad negrijanih prostorija	1,44	0,23	0,40
PR1	Prozor	1,7	1,45	1,6
V1	Vrata	5	2	2



Slika 31. Usporedba koeficijenta prolaza topline građevnih elemenata

Tablica 5. Karakteristike Vanjskog zida (VZ3)

VZ3	VANJSKI ZID		
Materijal sloja	d [m]	λ [W/(mK)]	R [m²K/W]
Vapneno cementna žbuka	0,02	1,00	0,020
Armirani beton	0,30	2,60	0,115
Cementna žbuka	0,02	1,60	0,013
Mineralna vuna	0,18	0,04	5,143
Polimercementna žbuka s st.mrežicom	0,05	0,70	0,071
Završna pročeljna žbuka	0,02	0,90	0,023
		Rsi [m²K/W]	0,13
		Rse [m²K/W]	0,04
U	m²K/W	0,18	

Tablica 6. Karakteristike Unutarnjeg zida (Z7)

Z7	UNUTARNJI ZID prema negrijanim prostorijama		
Materijal sloja	d (m)	λ [W/(mK)]	R (m²K/W)
Vapneno cementna žbuka	0,02	1,00	0,020
Puna opeka	0,25	0,81	0,309
Vapneno-cementna žbuka	0,02	1,00	0,020

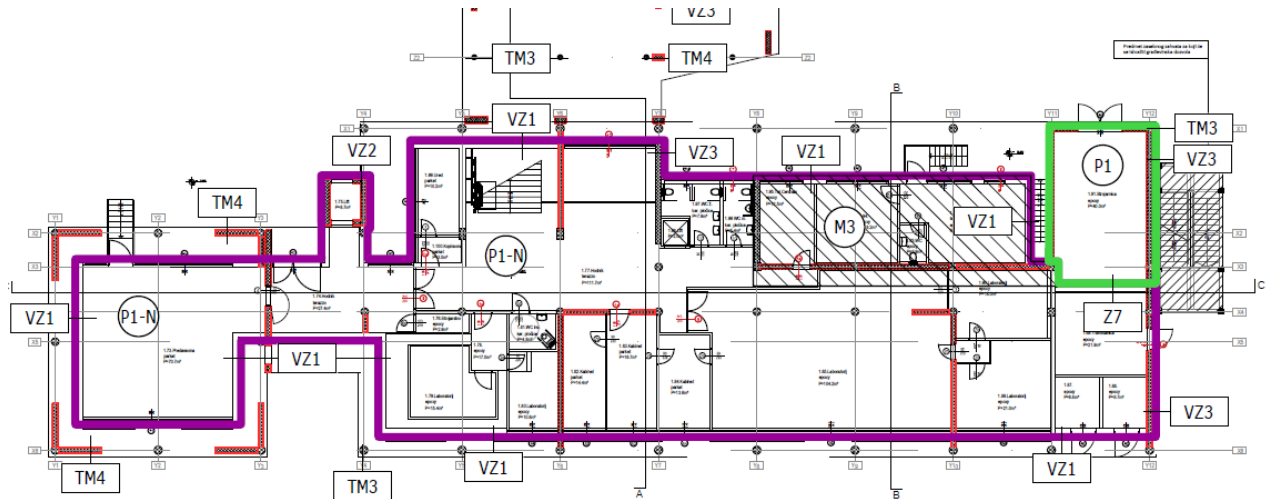
Mineralna i staklena vuna	0,10	0,04	2,500
Gipskartonsko ploče	0,01	0,25	0,100
		Rsi [m ² K/W]	0,130
		Rse [m ² K/W]	0,130
U	m ² K/W	0,322	

Tablica 7. Karakteristike Stropa iznad negrijanog prostora (M3)

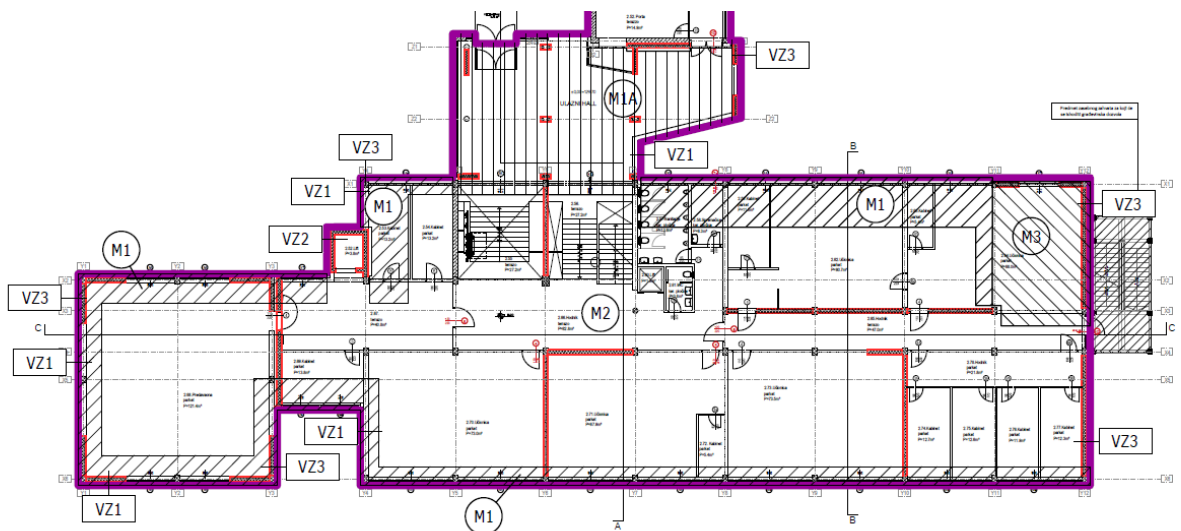
M3	STROP iznad negrijanog prostora		
Materijal sloja	<i>d</i> (m)	λ [W/(mK)]	<i>R</i> (m ² K/W)
Cementni estrih	0,05	1,60	0,031
Polietilenske folije	0,00	0,19	0,001
Polistirenske ploče	0,02	0,04	0,500
Armirani beton(2500)	0,05	2,60	0,019
Silikatne protupož. ploče	0,05	0,18	0,278
Mineralna vuna	0,10	0,04	2,857
Gipskartonska ploča do 15 mm	0,01	0,25	0,050
		Rsi [m ² K/W]	0,130
		Rse [m ² K/W]	0,130
U	m ² K/W	0,25	

4.1. Proračun projektnih toplinskih gubitaka prema normi EN 12831

Proračun projektnog toplinskog opterećenja izveden je prema EN 12831, u sklopu programskog paketa INTEGRACAD. Za grad Zagreb, odabrana je projektna temperatura za Grič -9,8°C prema podacima Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja (MGIPU). Odabrana unutarnja projektna temperatura je 20°C te su sve prostorije grijane. Zgrada je srednje masivnosti, srednje zabrtvljenosti te srednje zaklonjena. Zbog predviđenih prekida u grijanju uzima se 10 W/m², uz vrijeme zagrijavanja od 2 sata. Prostor za kondicioniranje nalazi se u Sjevernoj zgradi koja se sastoji od više dilatacija, a promatrana površina dio je dilatacije A. U niskom prizemlju (NP) nalazi se Ured i Učionica, dok visoko prizemlje (VP), ima Učionicu, uz koju se nalazi Veliki kabinet i Hodnik za ulaz u istu te druga Učionicu i manji Kabinet. Raspored, broj prostorija i površina svake prikazani su u Tablici 8. te su istim brojevima označene na uvećanom tlocrtu NP na Slici 32. i VP na Slici 33.



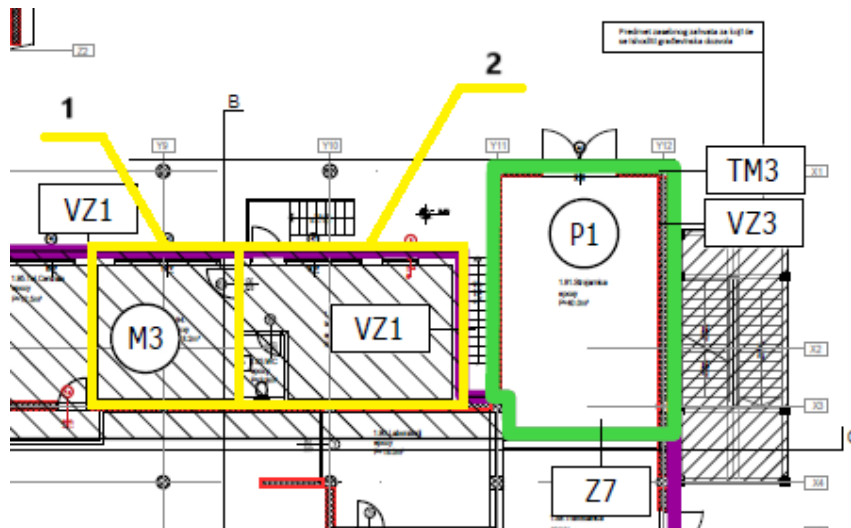
Slika 32. Tlocrt niskog prizemlja (NP) dilatacije A



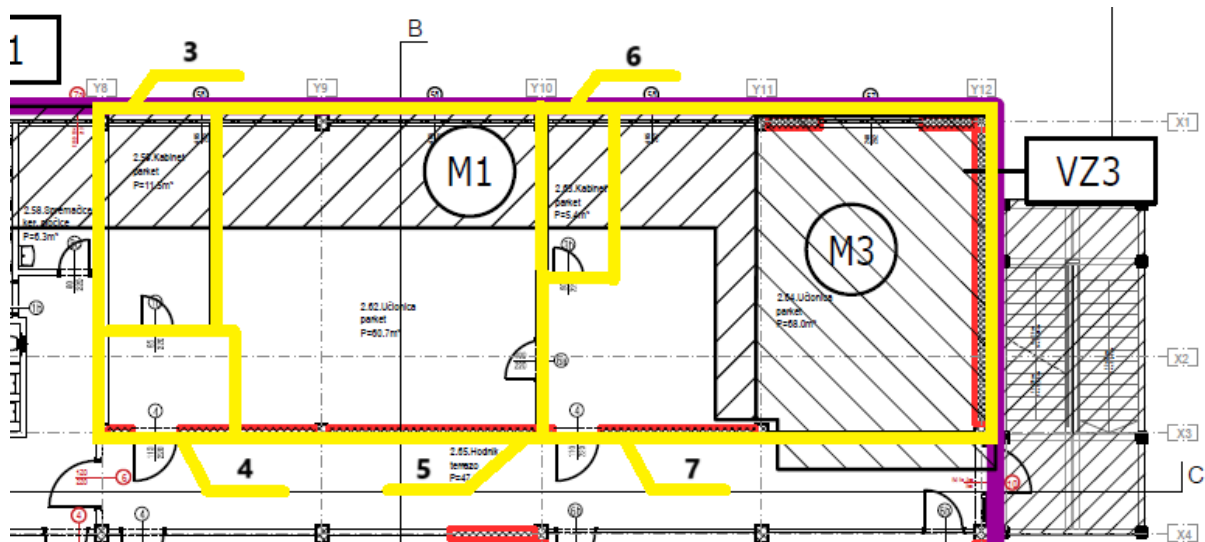
Slika 33. Tlocrt visokog prizemlja (VP) dilatacije A

Tablica 8. Raspored i površine projektiranih prostorija

Br. Prostorije	Kat	P	Prostorija	A (m ²)
1.	K1	P1	Ured	18
2.	K1	P2	Učionica	27
3.	K2	P1	Veliki kabinet	11
4.	K2	P2	Hodnik	6
5.	K2	P3	Učionica	53
6.	K2	P4	Kabinet	5
7.	K2	P5	Učionica	67



Slika 34. Uvećan tlocrt NP i raspored promatranih prostorija(žuto)



Slika 35. Uvećan tlocrt VP i označene prostorije (žuto)

4.2. Proračun projektnih toplinskih dobitaka prema VDI 2078

Proračun projektnog rashladnog opterećenja za odabrane prostorije proveden je prema normi VDI 2078, također u sklopu INTEGRACAD-a. U odnosu na EN 12831 ova norma u obzir uzima i solarne dobitke koji čine veliki udio toplinskog opterećenja u ukupni dobitcima. Norma kategorizira dobitke na unutarnje i vanjske. Unutarnji podrazumijevaju dobitke od ljudi, opreme i rasvjete. Vanjski se dijele na transmisivske, ventilacijske i solarne. Budući da je razlika između projektne unutarnje i vanjske temperature u ljetnim mjesecima relativno mala, najveći udio vanjskih dobitaka čine dobici Sunčevog zračenja. S obzirom da Sunčevo zračenje postaje toplinsko opterećenje s vremenski odmakom, a i samo zračenje nije isto tijekom cijelog dana, proračun se provodi za više sati u danu za karakterističan dan određenog mjeseca za više mjeseci.

Projektna temperatura prostorija u sezoni hlađenja uzeta je 26 °C. Dobici električne rasvjete uzeti su 5 W/m², dok je snaga računala 200 W. Ured, koji je ujedno i tehnička soba, uz dva računala ima dodatak od 700 W zbog opreme DT, korigirani faktorom istovremenosti 0,5. Računalne učionice na katu (VP) zbog različitog intenziteta korištenja korigirane su faktorom 0,35. Unutarnji dobiti po prostorijama dani su u Tablici 9.

Tablica 9. Prikaz unutarnjih dobitaka prostorija

Br.	Kat	P	Prostorija	A [m ²]	Br. ljudi [W]	Oprema [W]	Rasvjeta [W]
1.	K1	P1	Ured	18	2	1100	90
2.	K1	P2	Učionica	27	13	300	135
3.	K2	P1	Veliki kabinet	11	1	300	55
4.	K2	P2	Hodnik	6	0	0	30
5.	K2	P3	Učionica	53	13	2500	265
6.	K2	P4	Kabinet	5	0	0	25
7.	K2	P5	Učionica	67	16	3100	335

4.3. Rezultati proračuna za režim grijanja i hlađenja

Provedenim proračunom za grijanje po normi EN 12831 potrebno je ukupno 15,1 kW, dok je za hlađenje po VDI2078 potrebno 13,1 kW. Raspodjela proračunskog opterećenja po prostorijama za grijanje i hlađenje prikazana je u Tablici 10. Vidljivo je da površinski najveće prostorije, Učionice K2.P3 i K2.P4 čine najveće potrošače za grijanje i hlađenje. Razlog tome ne mora nužno biti u gubicima kroz površine već i zahtjevi za izmjenom zraka, budući da tamo borave ljudi kako je prikazano ranije. Izmjena vanjskog zraka za Učionice uzeta je 2 h⁻¹. Transmisijski i ventilacijski gubici po prostorijama prikazani su u Tablici 11., a detaljan proračun nalazi se u Prilogu A. Osim toga bitno je spomenuti i dodatan gubitak za zagrijavanje prostora (zbog prekida loženja) koji po nekim prostorijama iznosi i 30 % ukupnih gubitaka.

Tablica 10. Potrebe za grijanjem i hlađenjem po prostorijama

Br.	Kat	P	Prostorija	A [m ²]	POTREBA ZA GRIJANJEM		POTREBA ZA HLAĐENJEM	
					W	W/m ²	W	W/m ²
1.	K1	P1	Ured	18	651	36	1864	104
2.		P2	Učionica	27	1173	43	2077	77
3.	K2	P1	Veliki kabinet	11	1269	115	685	62
4.		P2	Hodnik	6	63	11	0	0

5.	P3	Učionica	53	5159	97	3170	60
6.	P4	Kabinet	5	105	21	216	43
7.	P5	Učionica	67	6678	100	5102	76
UKUPNO				15098		13114	

Tablica 11. Rezultati proračuna za grijanje po prostorijama

K1	NP						
P	Prostorija	A (m²)	Tu (°C)	Φ_n (W)	Φ_T (W)	Φ_V (W)	Φ_{RH} (W)
P1	Ured	18	20	651	327	140	184
P2	Učionica	27	20	1173	581	315	277
	Ukupno: NP			1824	908	455	461
K2	VP						
P	Prostorija	A(m²)	Tu(°C)	Φ_n (W)	Φ_T(W)	Φ_V(W)	Φ_{RH}(W)
P1	Veliki kabinet	11	20	1269	339	813	117
P2	Hodnik	6	15	63	0	0	63
P3	Učionica	53	20	5159	946	3680	533
P4	Kabinet	5	20	105	53	0	52
P5	Učionica	67	20	6678	1381	4627	670
	Ukupno: VP			13274	2719	9120	1435
	Ukupno:			15098	3627	9575	0

Proračunom VDI 2078 za hlađenje izračunato je 12,6 kW toplinskih dobitaka koje treba odvesti, raspoređenih po prostorijama prema Tablici 10., dok je detaljan proračun u Prilogu B. Radi boljeg uvida u toplinska opterećenja po prostorijama u Tablici 12., prikazani su najveći unutarnji dobitci za pojedine prostorije, ali treba naglasiti da ti podaci po prostorijama nisu za isti dan i vrijeme, već za pojedini dan u satu najvećeg toplinskog opterećenja. Prema tome vidljivo je u Tablici 12. da najveće toplinske dobitke u prostorijama čine ljudi, zatim računala i ostala oprema i na kraju rasvjeta. Bitno je primijetiti da je većina dobitaka u tablici izražena za vrijeme 13:00 h, no Učionica K1.P2 najviše dobitaka ima u 14:00. Zbog toga se ti dobitci ne mogu zbrajati. Raspodjela vanjskih dobitaka dana je u Tablici 13. s istim pristupom kao i raspodjela unutarnjih dobitaka. Sunčevo zračenje čini preko 95% ukupnih vanjskih dobitaka, čime je transmisija gotovo zanemariva kao što je i bilo za očekivati s obzirom da su razlike temperature prostorije i okoliša puno manje, nego one kod grijanja. Presjek najvećih unutarnjih i vanjskih dobitaka za pojedinu prostoriju dani su u Tablici 14., iz koje se vidi da unutarnji gubici variraju između 40% (K1.P1), pa čak i do 75% ukupnih dobitaka prostorije (K1.P2).

Prostorija najveće površine 67 m², Učionica K2.P5, u kojoj boravi 16 ljudi i nalazi se 15 računala i dodatna oprema ima najveće zahtjeve za hlađenjem te oni iznose 4800W, od kojih je 50% unutarnjih dobitaka. Druga po površini, K2.P3 od 53 m², u kojoj boravi 13 ljudi i nalazi se 12 računala i popratna oprema, zahtjeva odvođenje 2914 W, od čega je 70% unutarnjih dobitaka. Ured K1.P1 relativno je male površine, 18 m², dok su mu ukupni dobitci 1847 W, što iznosi 102,6 W/m² i to je najveći dobitak po kvadratu za pojedinu prostoriju.

Tablica 12. Unutarnji dobitci po prostoriji

Br.	Kat	P	Prostorija	A [m ²]	Osobe [W]	Oprema [W]	Rasvjeta [W]	UKUPNO [W]	Datum	Sat [h]
1.	K1	P1	Ured	18	195	497	69	761	23.srpnja	13
2.	K1	P2	Učionica	27	1255	219	130	1604	23.srpnja	14
3.	K2	P1	Veliki kabinet	11	97	97	45	239	23.srpnja	13
4.	K2	P2	Hodnik	6	0	0	0	2056	23.srpnja	0
5.	K2	P3	Učionica	53	1255	594	207	2056	23.srpnja	13
6.	K2	P4	Kabinet	5	0	0	0	0	23.srpnja	0
7.	K2	P5	Učionica	67	1526	705	254	2485	23.srpnja	13

Tablica 13. Vanjski dobitci topline po prostoriji

Br.	Kat	P	Prostorija	A [m ²]	Transmisija [W]	Zračenje [W]	UKUPNO [W]	Datum	Sat [h]
1.	K1	P1	Ured	18	23	1063	1086	23.srpnja	13
2.	K1	P2	Učionica	27	6	461	467	23.srpnja	14
3.	K2	P1	Veliki kabinet	11	18	428	446	23.srpnja	13
4.	K2	P2	Hodnik	6	0	0	0	23.srpnja	0
5.	K2	P3	Učionica	53	40	818	858	23.srpnja	13
6.	K2	P4	Kabinet	5	0	210	210	23.srpnja	0
7.	K2	P5	Učionica	67	99	2216	2315	23.srpnja	13

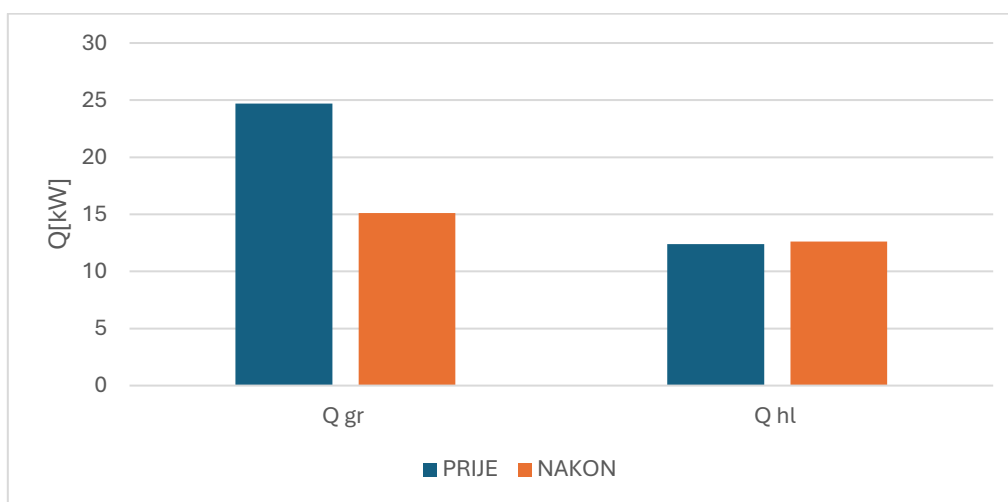
Tablica 14. Raspodjela najvećih toplinskih dobitaka

Br.	Kat	P	Prostorija	A [m ²]	UNUTARNJI DOBITCI [W]	VANJSKI DOBITCI [W]	UKUPNI DOBITCI [W]	Datum	Sat[h]
1.	K1	P1	Ured	18	761	1086	1847	23.srpnja	13
2.	K1	P2	Učionica	27	1604	467	2071	23.srpnja	14
3.	K2	P1	Veliki kabinet	11	239	446	685	23.srpnja	13
4.	K2	P2	Hodnik	6	0	0	0	23.srpnja	0
5.	K2	P3	Učionica	53	2056	858	2914	23.srpnja	13
6.	K2	P4	Kabinet	5	0	210	210	23.srpnja	0
7.	K2	P5	Učionica	67	2485	2315	4800	23.srpnja	13

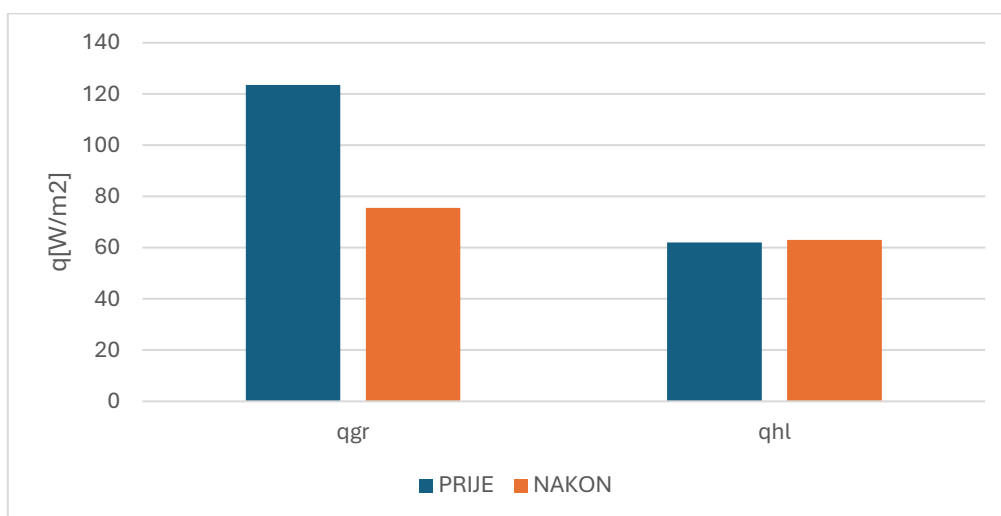
Dobiveni rezultati uspoređeni su s prvotnim projektnim izračunom [15] te se pokazuje 40% manje toplinsko opterećenje za grijanje i 2% veće za hlađenje, Tablica 14. Zbog boljeg vizualnog prikaza ukupno opterećenje za grijanje i hlađenje prikazano je Slikom 34., a specifično Slikom 35. Vidljivo je da je prije obnove trebalo $123,5 \text{ W/m}^2$ za grijanje, dok je nakon obnove taj iznos pao na $75,5 \text{ W/m}^2$. Potreba za hlađenjem povećana je s 62 na 63 W/m^2 .

Tablica 15. Ukupno opterećenje za grijanje i hlađenje prije i nakon obnove

	Φ gr [kW]	Φ hl [kW]	q_{gr} [W/m ²]	q_{hl} [W/m ²]
PRIJE	24,7	12,4	123,5	62
NAKON	15,1	12,6	75,5	63



Slika 36. Ukupno toplinsko/rashladno opterećenje prije i nakon obnove



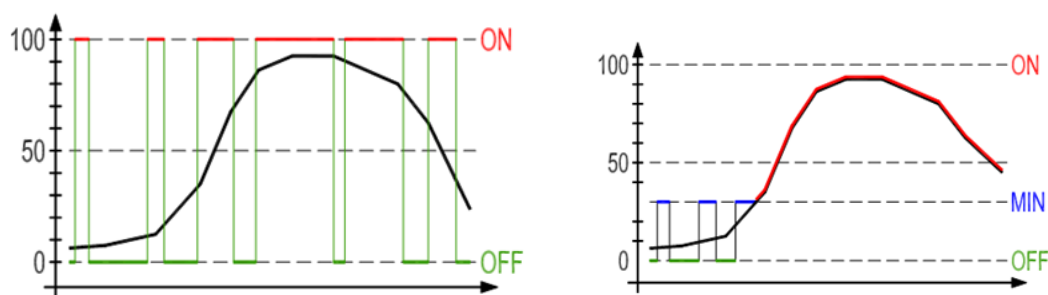
Slika 37. Specifično toplinsko/rashladno opterećenje prije i nakon obnove

5. MJERE ZA UČINKOVITIJI RAD DIZALICE TOPLINE

Dizalice topline pokazuju visoku učinkovitost u umjerenim temperaturama, to znači da su manje učinkovite na jako niskim i relativno visokim vanjskim temperaturama. Upravo zbog toga bitan je odabir dizalice topline pravog kapaciteta. Predimenzionirana dizalica topline najveći dio godine radit će na relativno neučinkovit način, zato što je potreba za grijanjem u većem dijelu godine puno manja od projektiranog kapaciteta što dovodi do konstantnog "on-off" načina rada.

Osim toga temelj učinkovitog načina rada dizalice topline su preduvjeti zgrade. Ako je zgrada dobro izolirana, primjenjivi su niži režimi grijanja. Odnosno zadana temperatura spremnika vode, koji opskrbljuje potrošače u sezoni grijanja, određuje temperaturu kondenzacije na kojoj radi dizalica topline. Što je temperatura kondenzacije niža, to je faktor učinkovitosti grijanja viši, uz nepromijenjenu temperaturu isparavanja. Budući da je temperatura isparavanja direktno određena temperaturom okoliša tj. ovom slučaju zraka na nju ne možemo utjecati, osim u slučaju zaleđivanja. U slučaju jako niskih temperatura, može doći do zaleđivanja isparivača, zbog čega dolazi do smanjenja kapaciteta i rušenja toplinskog množitelja.

Za potrebe IRI2 projekta proračunato je toplinsko opterećenje prostora nakon obnove na iznos od 15,1 kW. Proračun je proveden za vanjsku temperaturu zraka od $-9,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. S ciljem što manjeg broja uključivanja i isključivanja kompresora dizalice topline, izbor nove dizalice topline potrebno je provesti za balansnu točku od $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, što iznosi oko 10 kW. Time će se pri parcijalnom radu sustava postići kontinuirani rad dizalice topline što će doprinijeti višoj učinkovitosti u konačnici. Za pojavnost niskih vanjskih temperatura (od $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) pomoćni električni grijač se po potrebi uključuje. Parcijalni rad dizalice (Slika 38.) izuzetno je važan za postizanje visokih značajki rada dizalice topline zrak-voda.



Slika 38. a) Prikaz "on-off" regulacije rada dizalice topline; b) Prikaz kontinuirane regulacije rada dizalice topline [12]

6. ZAKLJUČAK

Dizalice topline zadnjih su godina postale tema za sve i dok mnogi o njima malo znaju, ipak se o njima puno priča. Posebno su postale interesantne zbog porasta cijene i nedostupnosti energenata uslijed različitih zbivanja na području Europe, ali i cijeloga svijeta. Dodatan vjetar u leđa za dizalice topline svakako su nove Regulative na razini EU, koje potiču ugradnju obnovljivih izvora energije u sklopu obnova zgrada ili kao obavezu pri izgradnji novih. Navedene regulative dio su mjera za smanjenje emisija ugljikovog dioksida u atmosferu.

Upravo zbog toga postoji veliki potencijal tržišta dizalica topline te potreba za istraživanjem tehnologije istih. Kao dodatan izazov u što boljoj izvedbi dizalica topline nameću se i ograničenja primjene do sad standardno korištenih radnih tvari u sklopu stalnih nadopuna F-gas regulative. Zbog toga, neophodno je istraživanje novih prihvatljivih radnih tvari za upotrebu u DT kao što je upravo propan, kao zamjena za R22. U sklopu istraživačkog projekta FSB IRI 2 financiranog iz Europskog fonda, instalirana je pilot dizalica topline zrak-voda na prirodnu radnu tvar kako bi se dobio bolji uvid u njeno ponašanje u relevantnom okruženju. Budući da je opremljena s mnogobrojnim visokokvalitetnim sensorima i regulacijom, moguće je pratiti velik broj parametara. Analizom mjerenih podataka dobiven je uvid u kretanje parametara temperature, odnosno tlaka isparavanja i kondenzacije. Osim toga dan je uvid u dnevnu raspodjelu snage kompresora, toplinskog toka i toplinskog množitelja, pri čemu je uočena povišena potreba za toplinskim tokom od očekivane. Toplinski množitelj se u danima mjerenja kretao između 4,50 i 4,75. Neučinkovitost postavljenog sustava vidljiva je u konstantnom on-“off-radu“ kompresora, koji je veći dio mjerenja radio s izrazito niskim kapacitetom. Jedan od razloga je i predimenzioniran sustav.

Novim proračunom utvrđeno je toplinsko opterećenje u iznosu od 15,1 kW, dok je rashladno opterećenje 12,6 kW. Očekivano, dodatnim slojem izolacije na vanjskim zidovima, manjim slojem na unutarnjim, podu i stropu, napravljena je ušteda od 40%. Osim smanjenja gubitaka primarno transmisijom, izolacija je smanjila mogućnost hlađenja prostorije, a budući da se radi o učionicama, ljudi i oprema čine znatne toplinske dobitke te se povisio zahtjev za hlađenjem za 2%. Dizalice topline mogu se koristiti i za grijanje i za hlađenje što je svakako jedna od njihovih prednosti. Osim odabira nižih temperaturnih režima, bitno je pravilno dimenzionirati i odabrati dizalicu topline kako bi ona što bolje radila za pojedine klimatske uvjete. Na kraju bitno je zaključiti da bez obzira na neke trenutne možebitne nedostatke dizalica topline, bez dizalica topline energetska efikasnost teško je dohvativa.

Uz sve češće fotonaponske panele na krovovima zgrada, dizalica topline mogla bi biti sljedeća tehnologija spremna za masovnu upotrebu. Svakako idealna situacija novih, ali i

obnovljenih zgrada je kombinacija dobre izolacije za smanjenje potrošnje energije, fotonaponski paneli kao izvor električne energije te dizalica topline u funkciji toplinskog ili rashladnog stroja. Nažalost, trenutno još uvijek Hrvatska kaska po tom pitanju, a jedan od početaka koji nam treba je prebrojavanje trenutnih dizalica topline po EHPA-i, budući da smo jedna od rijetkih zemalja koja nema registar instaliranih dizalica topline.

LITERATURA

- [1] European Environment Agency, “ Decarbonising heating and cooling — a climate imperative “, Publication Feb 2023., p.1,2
<https://www.eea.europa.eu/publications/decarbonisation-heating-and-cooling/decarbonising-heating-and-cooling>
- [2] European Environment Agency, “ Decarbonising heating and cooling — a climate imperative “, Publication Feb 2023., p.4
<https://www.eea.europa.eu/publications/decarbonisation-heating-and-cooling/decarbonising-heating-and-cooling>
- [3] Soldo,V.: Podloge za predavanja Hlađenje i dizalice topline; 4. Radne tvari u tehnici hlađenja, Zagreb, 2021., p.71
- [4] Klimatizacija.hr: Dizalica topline-sve što trebate znati, <https://klimatizacija.hr/dizalica-topline/>
- [5] Milat L.; Diplomski rad Pilot postrojenje za ispitivanje radnih značajki DT zrak-voda u relevantnom okruženju, Zagreb, 2021.;2.Osnove rada DT;p.3
- [6] Sarbu I.,Valea E.S.; Past, present and future perspectives of refrigerants in air-conditioning, refrigeration and heat pump applications
https://www.researchgate.net/figure/Single-stage-vapour-compression-process-with-a-single-component-or-azeotropic-refrigerant_fig2_287512957
- [7] EHPA; “European heat pump market and statistics report 2023“, p.1; Table 1
<https://www.ehpa.org/news-and-resources/publications/european-heat-pump-market-and-statistics-report-2023/>
- [8] EHPA; “European heat pump market and statistics report 2023“, p.8; Chart 1.0-1
<https://www.ehpa.org/news-and-resources/publications/european-heat-pump-market-and-statistics-report-2023/>
- [9] Vukdragović, N.: Završni rad: F-gas uredba za radne tvari; 2.Staklenički plinovi, Zagreb, 2023.,p.2
- [10] Soldo,V.: Podloge za predavanja: Hlađenje i dizalice topline; 4. Radne tvari u tehnici hlađenja, FSB, Zagreb, 2021.

- [11] Performance and Optimization Study of R290 as Alternative Refrigerant for R22 in Low Temperature Heat Pump System, November 2021, Journal of Physics Conference Series 2108(1):012089
https://www.researchgate.net/publication/356544082_Performance_and_Optimization_Study_of_R290_as_Alternative_Refrigerant_for_R22_in_Low_Temperature_Heat_Pump_System
- [12] Soldo, V.: Podloge za predavanja: Projektiranje rashladnih sustava, FSB, Zagreb, 2021.
- [13] Razvoj ekološke dizalice topline; <https://www.ecodt.org/>
- [14] TLK ENERGY log ph tool; <https://tlk-energy.de/en/phase-diagrams/pressure-enthalpy>
- [15] Milat L.: Diplomski rad: Pilot postrojenje za ispitivanje radnih značajki dizalice topline zrak-voda u relevantnom okruženju, Zagreb, 2021.

PRILOG A- Proračun toplinskih gubitaka prema HRN EN 12831

Projekt: FSB SJEVER

Rekapitulacija objekta

Objekt

Tip zgrade	Ostale zgrade
Konstrukcija	Srednja
Klasa zaštićenosti	Zaštićen tip
Stupanj zabrtvljenosti	Srednji
Broj izmjena zraka pri 50 (Pa):	6,0 (1/h)

Temperature

Vanjska projektna temperatura	-9 (°C)
Srednja godišnja temperatura	12 (°C)

Geometrija

Volumen:	652,00 (m ³)
Dubina podzemnih voda:	2,00 (m)

Koeficijenti prolaza topline

Oznaka	Vrsta		Ra (m ² K/W)	Ri (m ² K/W)	k (W/m ² K)	
VZ3	Vanjski zid		0,04	0,13	0,180	
Materijal sloja		d (m)	Ro (kg/m ³)	D*Ro (kg/m ²)	L (W/mK)	R (m ² K/W)
Gipsana i vapneno-gipsana žbuka		0,0200	1800,00	36,00	1,000	0,020
Betoni od kamenog agregata		0,3000	2500,00	750,00	2,600	0,115
Gipsana i vapneno-gipsana žbuka		0,0200	2000,00	40,00	1,600	0,013
Mineralna i staklena vuna		0,1800	115,00	20,70	0,035	5,143
Gipsana žbuka na rabić mreži		0,0500	1100,00	55,00	0,700	0,071
Gipsana i vapneno-gipsana žbuka		0,0200	1500,00	30,00	0,870	0,023

Oznaka	Vrsta		Ra (m ² K/W)	Ri (m ² K/W)	k (W/m ² K)	
P1	Pod prema tlu		0,04	0,17	0,318	
Materijal sloja		d (m)	Ro (kg/m ³)	D*Ro (kg/m ²)	L (W/mK)	R (m ² K/W)
Cementni estrih		0,2000	2000,00	400,00	2,600	0,077
Polietilenske folije		0,0002	1000,00	0,20	0,190	0,001
Polistirenske ploče (u blokovima)		0,1000	35,00	3,50	0,035	2,857

Oznaka	Vrsta		Ra (m ² K/W)	Ri (m ² K/W)	k (W/m ² K)	
Z7	Unutarnji zid		0,13	0,13	0,322	
Materijal sloja		d (m)	Ro (kg/m ³)	D*Ro (kg/m ²)	L (W/mK)	R (m ² K/W)
Gipsana i vapneno-gipsana žbuka		0,0200	1800,00	36,00	1,000	0,020
Puna opeka		0,2500	1800,00	450,00	0,810	0,309
Gipsana i vapneno-gipsana žbuka		0,0200	1800,00	36,00	1,000	0,020
Mineralna i staklena vuna		0,1000	115,00	11,50	0,040	2,500

Oznaka	Vrsta		Ra (m ² K/W)	Ri (m ² K/W)	k (W/m ² K)	
M3	Strop		0,13	0,13	0,250	
Materijal sloja		d (m)	Ro (kg/m ³)	D*Ro (kg/m ²)	L (W/mK)	R (m ² K/W)
Cementni estrih		0,0500	2000,00	100,00	1,600	0,031
Polietilenske folije		0,0002	1000,00	0,20	0,190	0,001
Polistirenske ploče (u blokovima)		0,0200	15,00	0,30	0,040	0,500
Betoni od kamenog agregata		0,0500	2500,00	125,00	2,600	0,019
Ploče od sintet,mat,višesl,poliestera		0,0500	1400,00	70,00	0,180	0,278
Mineralna i staklena vuna		0,1000	115,00	11,50	0,035	2,857
Gipskartonska ploča - do 15 mm (kartonska)		0,0125	900,00	11,25	0,250	0,050

Oznaka	Vrsta		Ra (m ² K/W)	Ri (m ² K/W)	k (W/m ² K)
V1	Vrata		0,00	0,00	2,000

Oznaka	Vrsta		Ra (m ² K/W)	Ri (m ² K/W)	k (W/m ² K)
PR1	Prozor		0,00	0,00	1,450

Projekt: FSB SJEVER

Toplinska bilanca

K1 NP										
P	Prostorija	A (m²)	tu (°C)	Qn (W)	PhiT (W)	PhiV (W)	(W)	Qinst (W)	Qost (W)	Qinst/m² (W)
P1	Ured	18	20	651	327	140	184	0	-651	0
P2	Učionica	27	20	1173	581	315	277	0	-1173	0
Ukupno: NP				1824	908	455	461	0	-1824	

K2 VP										
P	Prostorija	A (m²)	tu (°C)	Qn (W)	PhiT (W)	PhiV (W)	(W)	Qinst (W)	Qost (W)	Qinst/m² (W)
P1	Veliki kabinet	11	20	1269	339	813	117	0	-1269	0
P2	Hodnik	6	15	63	0	0	63	0	-63	0
P3	Učionica	53	20	5159	946	3680	533	0	-5159	0
P4	Kabinet	5	20	105	53	0	52	0	-105	0
P5	Učionica	67	20	6678	1381	4627	670	0	-6678	0
Ukupno: VP				13274	2719	9120	1435	0	-13274	

Ukupno:				15098	3627	9575	0	0	-15098	
----------------	--	--	--	--------------	-------------	-------------	----------	----------	---------------	--

Projekt: FSB SJEVER**Toplinski gubici**

NP		Prostorija:				P1 Ured																			
Duljina (m)		3,95				T (m)																			
Širina (m)		4,68				Gw																			
Površina (m ²)		18,49				f g1																			
Visina (m)		3,20				Broj otvora																			
Volumen (m ³)		59,16				e i																			
Oplošje (m ²)		92,20				f vi																			
Visina iznad tla (m)		0,00				V ex (m ³ /h)																			
Theta int, i (°C)		20				V su (m ³ /h)																			
Theta e (°C)		-9				V su,i (m ³ /h)																			
f RH		10,00				n min (1/h)																			
Korekcijski faktor - fh,i		0,00																							
OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m²)	O	A' (m²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)				
P1	grijanoj prostoriji	hor.	1	4,85	4,38	21,24	+	21,24	0,00	0,00	0,00	0,318	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0				
Z7	grijanoj prostoriji	J	1	4,63	3,20	14,82	+	14,82	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0				
Z7	grijanoj prostoriji	Z	1	4,63	3,20	14,82	+	14,82	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0				
V1	grijanoj prostoriji	Z	1	0,90	2,20	1,98	-	1,98	0,00	0,00	0,00	2,000	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0				
Z7	grijanoj prostoriji	Z	1	4,20	3,20	13,44	+	11,46	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0				
PR1	okolici	S	1	3,35	2,00	6,70	-	6,70	0,00	0,00	0,00	1,450	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,715	281				
VZ3	okolici	S	1	4,85	3,20	15,52	+	8,82	0,00	0,00	0,00	0,180	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,588	46				
M3	grijanoj prostoriji	hor.	1	4,85	4,38	21,24	+	21,24	0,00	0,00	0,00	0,250	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0				
Rezultati proračuna																									
Phi V,inf (W)						14	Phi T,i (W)						327												
Phi V,min (W)						0	Phi V,i (W)						140												
Phi V,mech,inf						0	Phi V,mech (W)						140												
Phi V,su (W)						0	Phi (W)						651												
Phi RH (W)						185	Phi/A (W/m ²)						35												
Phi/V (W/m ³)						11																			

NP		Prostorija:					P2 Učionica																	
Duljina (m)		4,12				T (m)		2,00																
Širina (m)		6,74				Gw		1,00																
Površina (m ²)		27,77				f g1		1,45																
Visina (m)		3,20				Broj otvora		3																
Volumen (m ³)		88,86				e i		0,03																
Oplošje (m ²)		125,04				f vi		0,00																
Visina iznad tla (m)		0,00				V ex (m ³ /h)		0,00																
Theta int, i (°C)		20				V su (m ³ /h)		0,00																
Theta e (°C)		-9				V su,i (m ³ /h)		240,00																
f RH		10,00				n min (1/h)		0,00																
Korekcijski faktor - fh,i		1,00																						
OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m²)	O	A' (m²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)			
P1	grijanoj prostoriji	hor.	1	7,09	4,55	32,26	+	32,26	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0		
PR1	okolici	I	1	1,00	0,70	0,70	-	0,70	0,00	0,00	0,00	1,450	0,00	-9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0		
VZ3	okolici	I	1	4,63	3,20	14,82	+	14,12	0,00	0,00	0,00	0,180	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,542	73		
M3	grijanoj prostoriji	hor.	1	7,09	4,55	32,26	+	32,26	0,00	0,00	0,00	0,250	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0		
V1	okolici	S	1	1,10	2,50	2,75	-	2,75	0,00	0,00	0,00	2,000	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,500	159		
PR1	okolici	S	1	1,15	2,00	2,30	-	2,30	0,00	0,00	0,00	1,450	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,335	96		
PR1	okolici	S	1	2,25	2,00	4,50	-	4,50	0,00	0,00	0,00	1,450	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,525	189		
VZ3	okolici	S	1	6,69	3,20	21,41	+	11,86	0,00	0,00	0,00	0,180	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,135	61		
V1	grijanoj prostoriji	Z	1	0,90	2,20	1,98	-	1,98	0,00	0,00	0,00	2,000	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0		
VZ3	grijanoj prostoriji	Z	1	1,54	3,20	4,93	+	2,95	0,00	0,00	0,00	0,180	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0		
Rezultati proračuna																								
Phi V,inf (W)				32				Phi T,i (W)				581												
Phi V,min (W)				0				Phi V,i (W)				315												
Phi V,mech,inf				0				Phi V,mech (W)				315												
Phi V,su (W)				0				Phi (W)				1173												
Phi RH (W)				278				Phi/A (W/m ²)				42												
Phi/V (W/m ³)				13																				

VP		Prostorija:		P1 Veliki kabinet																		
Duljina (m)		2,45		T (m)	2,00																	
Širina (m)		4,81		Gw	1,00																	
Površina (m ²)		11,78		f g1	1,45																	
Visina (m)		3,50		Broj otvora	1																	
Volumen (m ³)		41,25		e i	0,02																	
Oplošje (m ²)		74,39		f vi	1,00																	
Visina iznad tla (m)		3,20		V ex (m ³ /h)	0,00																	
Theta int, i (°C)		20		V su (m ³ /h)	0,00																	
Theta e (°C)		-9		V su,i (m ³ /h)	0,00																	
f RH		10,00		n min (1/h)	2,00																	
Korekcijski faktor - fh,i		1,00																				
OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m²)	O	A' (m²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)	
M3	okolici	hor.	1	2,45	3,50	8,57	+	8,57	0,00	0,00	0,00	0,250	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,142	62
V1	grijanoj prostoriji	J	1	0,90	2,20	1,98	-	1,98	0,00	0,00	0,00	2,000	0,00	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0
Z7	grijanoj prostoriji	J	1	2,61	3,50	9,13	+	7,15	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0
PR1	okolici	S	1	2,45	2,55	6,25	-	6,25	0,00	0,00	0,00	1,450	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,059	262
VZ3	okolici	S	1	2,61	3,50	9,13	+	2,88	0,00	0,00	0,00	0,180	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,519	15
M3	grijanoj prostoriji	hor.	1	7,81	7,40	57,79	+	57,79	0,00	0,00	0,00	0,250	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0

Rezultati proračuna

Phi V,inf (W)	10	Phi T,i (W)	339
Phi V,min (W)	83	Phi V,i (W)	813
Phi V,mech,inf	0	Phi V,mech (W)	98
Phi V,su (W)	0	Phi (W)	1269
Phi RH (W)	118	Phi/A (W/m ²)	107
Phi/V (W/m ³)	30		

VP		Prostorija:					P2 Hodnik															
Duljina (m)		2,20				T (m)		2,00														
Širina (m)		2,90				Gw		1,00														
Površina (m ²)		6,38				f g1		1,45														
Visina (m)		3,50				Broj otvora		0														
Volumen (m ³)		22,33				e i		0,00														
Oplošje (m ²)		48,46				f vi		-0,21														
Visina iznad tla (m)		2,30				V ex (m ³ /h)		0,00														
Theta int, i (°C)		15				V su (m ³ /h)		0,00														
Theta e (°C)		-9				V su,i (m ³ /h)		0,00														
f RH		10,00				n min (1/h)		0,00														
Korekcijski faktor - fh,i		1,00																				
OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)	
M3	grijanoj prostoriji	hor.	1	2,20	2,90	6,38	+	6,38	0,00	0,00	0,00	0,250	0,00	20	1,00	0,00	-	0,00	0,00	-0,332	0	
M3	grijanoj prostoriji	hor.	1	2,20	2,90	6,38	+	6,38	0,00	0,00	0,00	0,250	0,00	20	1,00	0,00	-	0,00	0,00	-0,332	0	
Z7	negrijanoj prostoriji	Z	1	2,36	3,50	8,26		8,26	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0	
V1	grijanoj prostoriji	S	1	0,90	2,20	1,98	-	1,98	0,00	0,00	0,00	2,000	0,00	20	1,00	0,00	-	0,00	0,00	-0,825	0	
Z7	grijanoj prostoriji	S	1	3,06	3,50	10,71	+	8,73	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	20	1,00	0,00	-	0,00	0,00	-0,582	0	
V1	grijanoj prostoriji	I	1	0,90	2,20	1,98	-	1,98	0,00	0,00	0,00	2,000	0,00	20	1,00	0,00	-	0,00	0,00	-0,825	0	
Z7	grijanoj prostoriji	I	1	2,36	3,50	8,26	+	6,28	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	20	1,00	0,00	-	0,00	0,00	-0,419	0	
V1	grijanoj prostoriji	J	1	0,90	2,20	1,98	-	1,98	0,00	0,00	0,00	2,000	0,00	20	1,00	0,00	-	0,00	0,00	-0,825	0	
Z7	grijanoj prostoriji	J	1	3,06	3,50	10,71	+	8,73	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	20	1,00	0,00	-	0,00	0,00	-0,582	0	

Rezultati proračuna

Phi V,inf (W)	0	Phi T,i (W)	0
Phi V,min (W)	0	Phi V,i (W)	0
Phi V,mech,inf	0	Phi V,mech (W)	0
Phi V,su (W)	0	Phi (W)	63
Phi RH (W)	64	Phi/A (W/m ²)	9
Phi/V (W/m ³)	2		

VP Prostorija: P3 Učionica

Duljina (m)	6,97	T (m)	2,00
Širina (m)	7,65	Gw	1,00
Površina (m ²)	53,32	f g1	1,45
Visina (m)	3,50	Broj otvora	0
Volumen (m ³)	186,62	e i	0,00
Oplošje (m ²)	208,98	f vi	0,00
Visina iznad tla (m)	3,20	V ex (m ³ /h)	0,00
Theta int, i (°C)	20	V su (m ³ /h)	0,00
Theta e (°C)	-9	V su,i (m ³ /h)	0,00
f RH	10,00	n min (1/h)	2,00
Korekcijski faktor - fh,i	1,00		

OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
M3	okolici	hor.	1	4,47	4,47	19,98	+	19,98	0,00	0,00	0,00	0,250	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,995	144
V1	okolici	S	1	4,90	2,55	12,49	-	12,49	0,00	0,00	0,00	2,000	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,980	724
VZ3	okolici	S	1	7,81	3,50	27,33	+	14,84	0,00	0,00	0,00	0,180	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,671	77
V1	grijanoj prostoriji	I	1	0,90	2,20	1,98	-	1,98	0,00	0,00	0,00	2,000	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0
Z7	grijanoj prostoriji	I	1	7,54	3,50	26,39	+	24,41	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0
V1	grijanoj prostoriji	Z	1	0,90	2,20	1,98	-	1,98	0,00	0,00	0,00	2,000	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0
Z7	grijanoj prostoriji	Z	1	2,44	3,50	8,54	+	6,56	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0

Rezultati proračuna

Phi V,inf (W)	0	Phi T,i (W)	946
Phi V,min (W)	373	Phi V,i (W)	3680
Phi V,mech,inf	0	Phi V,mech (W)	0
Phi V,su (W)	0	Phi (W)	5159
Phi RH (W)	533	Phi/A (W/m ²)	96
Phi/V (W/m ³)	27		

VP	Prostorija:	P4 Kabinet	
Duljina (m)	1,46	T (m)	2,00

Širina (m)	3,61	Gw	1,00
Površina (m ²)	5,27	f g1	1,45
Visina (m)	3,50	Broj otvora	0
Volumen (m ³)	18,45	e i	0,00
Oplošje (m ²)	46,03	f vi	0,00
Visina iznad tla (m)	3,20	V ex (m ³ /h)	0,00
Theta int, i (°C)	20	V su (m ³ /h)	0,00
Theta e (°C)	-9	V su,i (m ³ /h)	0,00
f RH	10,00	n min (1/h)	0,00
Korekcijski faktor - fh,i	1,00		

OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
M3	okolici	hor.	1	1,93	1,93	3,72	+	3,72	0,00	0,00	0,00	0,250	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,930	27
M3	grijanoj prostoriji	hor.	1	3,96	1,61	6,38	+	6,38	0,00	0,00	0,00	0,250	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0
V1	grijanoj prostoriji	J	1	0,90	2,20	1,98	-	1,98	0,00	0,00	0,00	2,000	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0
Z7	grijanoj prostoriji	J	1	1,70	3,50	5,95	+	3,97	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0
PR1	okolici	S	1	1,20	2,55	3,06	-	3,06	0,00	0,00	0,00	1,450	0,00	-9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0
Z7	okolici	S	1	1,70	3,50	5,95	+	2,89	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,925	26

Rezultati proračuna

Phi V,inf (W)	0	Phi T,i (W)	53
Phi V,min (W)	0	Phi V,i (W)	0
Phi V,mech,inf	0	Phi V,mech (W)	0
Phi V,su (W)	0	Phi (W)	105
Phi RH (W)	53	Phi/A (W/m ²)	19
Phi/V (W/m ³)	5		

VP	Prostorija:	P5 Učionica	
Duljina (m)	6,54	T (m)	2,00
Širina (m)	10,25	Gw	1,00

Površina (m ²)	67,03	f g1	1,45
Visina (m)	3,50	Broj otvora	2
Volumen (m ³)	234,62	e i	0,03
Oplošje (m ²)	251,60	f vi	0,00
Visina iznad tla (m)	3,20	V ex (m ³ /h)	0,00
Theta int, i (°C)	20	V su (m ³ /h)	0,00
Theta e (°C)	-9	V su,i (m ³ /h)	0,00
f RH	10,00	n min (1/h)	2,00
Korekcijski faktor - fh,i	1,00		

OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ueq	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
M3	grijanoj prostoriji	hor.	1	10,60	6,96	73,78	+	73,78	0,00	0,00	0,00	0,250	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0
M3	okolici	hor.	1	7,11	7,11	50,55	+	50,55	0,00	0,00	0,00	0,250	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,637	366
V1	grijanoj prostoriji	Z	1	0,90	2,20	1,98	-	1,98	0,00	0,00	0,00	2,000	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0
Z7	grijanoj prostoriji	Z	1	6,54	3,50	22,89	+	20,91	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0
V1	grijanoj prostoriji	J	1	0,90	2,20	1,98	-	1,98	0,00	0,00	0,00	2,000	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0
Z7	grijanoj prostoriji	J	1	10,60	3,50	37,10	+	35,12	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0
VZ3	okolici	I	1	7,54	3,50	26,39		26,39	0,00	0,00	0,00	0,180	0,00	-9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0
PR1	okolici	S	1	4,90	2,55	12,49	-	12,49	0,00	0,00	0,00	1,450	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,118	525
PR1	okolici	S	1	3,65	2,55	9,31	-	9,31	0,00	0,00	0,00	1,450	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,496	391
Z7	okolici	S	1	9,24	3,50	32,34	+	10,54	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	-9	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,372	97
V1	grijanoj prostoriji	S	1	0,90	2,20	1,98	-	1,98	0,00	0,00	0,00	2,000	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0
Z7	grijanoj prostoriji	S	1	1,65	3,50	5,78	+	3,80	0,00	0,00	0,00	0,320	0,00	20	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0

Rezultati proračuna

Phi V,inf (W)	84	Phi T,i (W)	1381
Phi V,min (W)	469	Phi V,i (W)	4627
Phi V,mech,inf	0	Phi V,mech (W)	833
Phi V,su (W)	0	Phi (W)	6678
Phi RH (W)	670	Phi/A (W/m ²)	99
Phi/V (W/m ³)	28		

PRILOG B- Proračun toplinskih dobitaka prema VDI 2078

Projekt: FSB SJEVER

Bilanca hlađenja

K1 NP									
P	Prostorija	Qn (W)	Datum	Qinst (W)	Qost (W)	Qi(pod) (W)	Qi(zid) (W)	Qi(vk) (W)	(%)
P1	Ured	1864		0	1864	0	0	0	0
P2	Učionica	2077		0	2077	0	0	0	0
	Ukupno: NP	3941		0	3941	0	0	0	
K2 VP									
P	Prostorija	Qn (W)	Datum	Qinst (W)	Qost (W)	Qi(pod) (W)	Qi(zid) (W)	Qi(vk) (W)	(%)
P1	Veliki kabinet	685		0	685	0	0	0	0
P2	Hodnik	0		0	0	0	0	0	0
P3	Učionica	3170		0	3170	0	0	0	0
P4	Kabinet	216		0	216	0	0	0	0
P5	Učionica	5102		0	5102	0	0	0	0
	Ukupno: VP	9173		0	9173	0	0	0	
	Ukupno:	13114		0	13114	0	0	0	

Toplinski dobici

K1 NP		P1 Ured												
Tip prostora	M - srednje											a (m)	3,95	
Orijentacija	nor. - normalno											b (m)	4,68	
Tip zračenja	ukupno											c (m)	3,20	
Datum	23. Srpanj											V (m ³)	59,16	
T												4,30	O (m ²)	92,20
													Ap (m)	18,49
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Unutr. temp. (°C)		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
Vanj. temp. (°C)		16,70	16,30	15,80	15,50	16,20	17,50	19,70	22,40	24,40	26,00	26,70	27,40	
Osobe (W)		0	0	0	0	0	0	0	18	179	184	187	192	
Rasvjeta (W)		0	0	0	0	0	0	0	6	59	62	65	68	
Strojevi i uređaji (W)		0	0	0	0	0	0	0	65	389	425	453	477	
Prolaz materijala kroz prostoriju (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sus. prostorije (W)		17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
Ostalo (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Transmisija (W)		-104	-109	-115	-118	-110	-95	-71	-39	-17	0	8	16	
Zračenje (W)		0	0	0	0	443	669	500	619	762	897	994	1047	
Infiltracija (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ukupno (W)		-87	-92	-98	-101	350	591	446	686	1389	1585	1724	1817	
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Unutr. temp. (°C)		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
Vanj. temp. (°C)		28,10	28,60	29,00	28,90	28,50	28,10	26,20	24,10	22,60	21,30	20,40	19,50	
Osobe (W)		195	197	199	202	204	205	208	210	0	0	0	0	
Rasvjeta (W)		69	71	72	74	0	0	0	0	0	0	0	0	
Strojevi i uređaji (W)		497	519	540	555	0	0	0	0	0	0	0	0	
Prolaz materijala kroz prostoriju (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sus. prostorije (W)		17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
Ostalo (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Transmisija (W)		23	29	34	33	28	23	2	-21	-38	-52	-62	-73	
Zračenje (W)		1063	1016	908	783	664	896	664	0	0	0	0	0	
Infiltracija (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ukupno (W)		1864	1849	1770	1664	913	1141	891	206	-21	-35	-45	-56	

Dnevni maksimum za 23. Srpanj iznosi 1864 (W) u 13 sati.

K1 NP		P2 Učionica												
Tip prostora	M - srednje					a (m)								4,12
Orijentacija	nor. - normalno					b (m)								6,74
Tip zračenja	ukupno					c (m)								3,20
Datum	23. Srpanj					V (m ³)								88,86
T		4,30				O (m ²)	125,04							
						Ap (m)	27,77							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Unutr. temp. (°C)		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
Vanj. temp. (°C)		16,70	16,30	15,80	15,50	16,20	17,50	19,70	22,40	24,40	26,00	26,70	27,40	
Osobe (W)		0	0	0	0	0	0	0	74	1120	1150	1180	1210	
Rasvjeta (W)		0	0	0	0	0	0	0	19	128	117	120	123	
Strojevi i uređaji (W)		0	0	0	0	0	0	0	51	170	183	191	204	
Prolaz materijala kroz prostoriju (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sus. prostorije (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ostalo (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Transmisija (W)		-120	-124	-130	-133	-124	-111	-87	-56	-34	-18	-10	-2	
Zračenje (W)		0	0	0	0	213	381	388	479	520	511	482	480	
Infiltracija (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ukupno (W)		-120	-124	-130	-133	89	270	301	567	1904	1943	1963	2015	
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Unutr. temp. (°C)		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
Vanj. temp. (°C)		28,10	28,60	29,00	28,90	28,50	28,10	26,20	24,10	22,60	21,30	20,40	19,50	
Osobe (W)		1240	1255	1270	1285	0	0	0	0	0	0	0	0	
Rasvjeta (W)		127	130	132	135	136	138	140	141	0	0	0	0	
Strojevi i uređaji (W)		209	219	225	230	237	240	245	248	0	0	0	0	
Prolaz materijala kroz prostoriju (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sus. prostorije (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ostalo (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Transmisija (W)		6	12	16	16	10	4	-17	-38	-56	-69	-79	-89	
Zračenje (W)		484	461	410	353	298	398	293	0	0	0	0	0	
Infiltracija (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ukupno (W)		2066	2077	2053	2019	681	780	661	351	-56	-69	-79	-89	

Dnevni maksimum za 23. Srpanj iznosi 2077 (W) u 14 sati.

K2 VP		P1 Veliki kabinet												
Tip prostora	M - srednje											a (m)	2,45	
Orijentacija	nor. - normalno											b (m)	4,81	
Tip zračenja	ukupno											c (m)	3,50	
Datum	23. Srpanj											V (m ³)	41,25	
T												4,30	O (m ²)	74,39
													Ap (m)	11,78
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Unutr. temp. (°C)		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
Vanj. temp. (°C)		16,70	16,30	15,80	15,50	16,20	17,50	19,70	22,40	24,40	26,00	26,70	27,40	
Osobe (W)		0	0	0	0	0	0	0	8	89	92	93	95	
Rasvjeta (W)		0	0	0	0	0	0	0	6	46	42	43	44	
Strojevi i uređaji (W)		0	0	0	0	0	0	0	13	75	82	88	93	
Prolaz materijala kroz prostoriju (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sus. prostorije (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ostalo (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Transmisija (W)		-86	-89	-94	-97	-90	-79	-58	-33	-15	-1	5	12	
Zračenje (W)		0	0	0	0	178	269	201	249	307	361	400	422	
Infiltracija (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ukupno (W)		-86	-89	-94	-97	88	190	143	243	502	576	629	666	
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Unutr. temp. (°C)		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
Vanj. temp. (°C)		28,10	28,60	29,00	28,90	28,50	28,10	26,20	24,10	22,60	21,30	20,40	19,50	
Osobe (W)		97	98	99	100	102	102	103	105	0	0	0	0	
Rasvjeta (W)		45	46	47	48	49	49	50	51	0	0	0	0	
Strojevi i uređaji (W)		97	102	106	109	0	0	0	0	0	0	0	0	
Prolaz materijala kroz prostoriju (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sus. prostorije (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ostalo (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Transmisija (W)		18	23	26	25	22	18	0	-19	-32	-44	-52	-60	
Zračenje (W)		428	409	365	315	267	361	267	0	0	0	0	0	
Infiltracija (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ukupno (W)		685	678	643	597	440	530	420	137	-32	-44	-52	-60	

Dnevni maksimum za 23. Srpanj iznosi 685 (W) u 13 sati.

K2 VP		P2 Hodnik												
Tip prostora	M - srednje					a (m)								2,20
Orijentacija	nor. - normalno					b (m)								2,90
Tip zračenja	ukupno					c (m)								3,50
Datum	23. Srpanj					V (m ³)								22,33
T		4,30				O (m ²)								48,46
						Ap (m)								6,38
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Unutr. temp. (°C)		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
Vanj. temp. (°C)		16,70	16,30	15,80	15,50	16,20	17,50	19,70	22,40	24,40	26,00	26,70	27,40	
Osobe (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Rasvjeta (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Strojevi i uređaji (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Prolaz materijala kroz prostoriju (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sus. prostorije (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ostalo (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Transmisija (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zračenje (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Infiltracija (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ukupno (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Unutr. temp. (°C)		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
Vanj. temp. (°C)		28,10	28,60	29,00	28,90	28,50	28,10	26,20	24,10	22,60	21,30	20,40	19,50	
Osobe (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Rasvjeta (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Strojevi i uređaji (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Prolaz materijala kroz prostoriju (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sus. prostorije (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ostalo (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Transmisija (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zračenje (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Infiltracija (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ukupno (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Dnevni maksimum za 23. Srpanj iznosi 0 (W) u 0 sati.

K2 VP		P3 Učionica											
Tip prostora	M - srednje					a (m)							6,97
Orijentacija	nor. - normalno					b (m)							7,65
Tip zračenja	ukupno					c (m)							3,50
Datum	23. Srpanj					V (m ³)							186,62
T		4,30				O (m ²)							208,98
						Ap (m)							53,32
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Unutr. temp. (°C)		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
Vanj. temp. (°C)		16,70	16,30	15,80	15,50	16,20	17,50	19,70	22,40	24,40	26,00	26,70	27,40
Osobe (W)		0	0	0	0	0	0	0	74	1120	1150	1180	1210
Rasvjeta (W)		0	0	0	0	0	0	0	18	172	180	188	196
Strojevi i uređaji (W)		0	0	0	0	0	0	0	112	625	687	737	775
Prolaz materijala kroz prostoriju (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sus. prostorije (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ostalo (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transmisija (W)		-171	-180	-191	-199	-188	-167	-128	-80	-43	-14	0	14
Zračenje (W)		0	0	0	0	356	539	403	499	614	722	801	843
Infiltracija (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ukupno (W)		-171	-180	-191	-199	168	372	275	623	2488	2725	2906	3038
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Unutr. temp. (°C)		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
Vanj. temp. (°C)		28,10	28,60	29,00	28,90	28,50	28,10	26,20	24,10	22,60	21,30	20,40	19,50
Osobe (W)		1240	1255	1270	1285	0	0	0	0	0	0	0	0
Rasvjeta (W)		202	207	210	215	0	0	0	0	0	0	0	0
Strojevi i uređaji (W)		812	850	887	912	0	0	0	0	0	0	0	0
Prolaz materijala kroz prostoriju (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sus. prostorije (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ostalo (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transmisija (W)		29	40	49	51	45	39	7	-31	-58	-82	-100	-117
Zračenje (W)		856	818	731	630	535	722	535	0	0	0	0	0
Infiltracija (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ukupno (W)		3139	3170	3147	3093	580	761	542	-31	-58	-82	-100	-117

Dnevni maksimum za 23. Srpanj iznosi 3170 (W) u 14 sati.

K2 VP		P4 Kabinet												
Tip prostora	M - srednje											a (m)	1,46	
Orijentacija	nor. - normalno											b (m)	3,61	
Tip zračenja	ukupno											c (m)	3,50	
Datum	23. Srpanj											V (m ³)	18,45	
T												4,30	O (m ²)	46,03
													Ap (m)	5,27
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Unutr. temp. (°C)		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
Vanj. temp. (°C)		16,70	16,30	15,80	15,50	16,20	17,50	19,70	22,40	24,40	26,00	26,70	27,40	
Osobe (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Rasvjeta (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Strojevi i uređaji (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Prolaz materijala kroz prostoriju (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sus. prostorije (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ostalo (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Transmisija (W)		-42	-44	-47	-49	-47	-41	-32	-20	-12	-4	-1	2	
Zračenje (W)		0	0	0	0	87	132	99	122	150	177	196	207	
Infiltracija (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ukupno (W)		-42	-44	-47	-49	40	91	67	102	138	173	195	209	
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Unutr. temp. (°C)		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
Vanj. temp. (°C)		28,10	28,60	29,00	28,90	28,50	28,10	26,20	24,10	22,60	21,30	20,40	19,50	
Osobe (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Rasvjeta (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Strojevi i uređaji (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Prolaz materijala kroz prostoriju (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sus. prostorije (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ostalo (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Transmisija (W)		6	10	12	13	11	9	2	-7	-14	-19	-24	-28	
Zračenje (W)		210	200	179	154	131	177	131	0	0	0	0	0	
Infiltracija (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ukupno (W)		216	210	191	167	142	186	133	-7	-14	-19	-24	-28	

Dnevni maksimum za 23. Srpanj iznosi 216 (W) u 13 sati.

K2 VP		P5 Učionica												
Tip prostora	M - srednje											a (m)	6,54	
Orijentacija	nor. - normalno											b (m)	10,25	
Tip zračenja	ukupno											c (m)	3,50	
Datum	23. Srpanj											V (m ³)	234,62	
T												4,30	O (m ²)	251,60
													Ap (m)	67,03
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Unutr. temp. (°C)		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
Vanj. temp. (°C)		16,70	16,30	15,80	15,50	16,20	17,50	19,70	22,40	24,40	26,00	26,70	27,40	
Osobe (W)		0	0	0	0	0	0	0	92	1380	1416	1452	1490	
Rasvjeta (W)		0	0	0	0	0	0	0	23	217	227	237	247	
Strojevi i uređaji (W)		0	0	0	0	0	0	0	139	775	852	914	961	
Prolaz materijala kroz prostoriju (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sus. prostorije (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ostalo (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Transmisija (W)		-322	-339	-362	-377	-356	-313	-237	-138	-59	4	38	70	
Zračenje (W)		0	0	0	0	922	1394	1043	1290	1589	1869	2072	2182	
Infiltracija (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ukupno (W)		-322	-339	-362	-377	566	1081	806	1406	3902	4368	4713	4950	
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Unutr. temp. (°C)		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
Vanj. temp. (°C)		28,10	28,60	29,00	28,90	28,50	28,10	26,20	24,10	22,60	21,30	20,40	19,50	
Osobe (W)		1526	1544	1564	1582	0	0	0	0	0	0	0	0	
Rasvjeta (W)		254	261	264	271	0	0	0	0	0	0	0	0	
Strojevi i uređaji (W)		1007	1054	1100	1131	0	0	0	0	0	0	0	0	
Prolaz materijala kroz prostoriju (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sus. prostorije (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ostalo (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Transmisija (W)		99	120	133	131	116	101	35	-41	-97	-146	-182	-218	
Zračenje (W)		2216	2117	1891	1630	1384	1869	1384	0	0	0	0	0	
Infiltracija (W)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ukupno (W)		5102	5096	4952	4745	1500	1970	1419	-41	-97	-146	-182	-218	

Dnevni maksimum za 23. Srpanj iznosi 5102 (W) u 13 sati.