DIMENZIONIRANJE I IZRADA ENERGETSKI UČINKOVITOG SUSTAVA VENTILACIJE

Letić, Krunoslav

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:228:968528

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of University Department of Professional Studies

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU

SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Specijalistički diplomski stručni studij Strojarstvo

Krunoslav Letić

Z A V R Š N I R A D

DIMENZIONIRANJE I IZRADA ENERGETSKI UČINKOVITOG SUSTAVA VENTILACIJE

Split, rujan 2020.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Specijalistički diplomski stručni studij Strojarstvo

Predmet: GRIJANJE I KLIMATIZACIJA

Z A V R Š N I R A D

Kandidat: Krunoslav Letić

Naslov rada: Dimenzioniranje i izrada energetski učinkovitog sustava ventilacije

Mentor: dr. sc. Zlatko Jankoski, prof. v. š. u trajnom zvanju

Split, rujan 2020.

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE U SPLITU
Sveučilišni odjel za stručne studije

Studij: Specijalistički diplomski stručni studij strojarstvo
Predmet: Grijanje i klimatizacija
Nastavnik: dr. sc. Zlatko Jankoski, prof. v. š. u trajnom zvanju

ZADATAK

Kandidat: Krunoslav Letić

Zadatak: Dimenzioniranje i izrada energetski učinkovitog sustava ventilacije

U završnom radu potrebno je:

- uvodno se osvrnuti o tehničkim propisima koji se odnose na uvijete i zahtjeve koje sustavi ventilacije trebaju zadovoljiti u skladu s mjerama energetske učinkovitosti i uštede energije;
- opisati princip rada rekuperatora i regeneratora toplinske energije, s posebnim osvrtom na učinkovitost istih;
- za odabrani prostor/objekt izraditi potrebne proračune, dimenzioniranje i odabir svih elemenata koji čine energetski učinkovit sustav ventilacije;
- izraditi nacrtnu dokumentaciju sustava za ventilaciju, sa svim potrebnim detaljima za izvedbu sustava;
- izvesti energetski učinkovit sustav ventilacije do potpune funkcionalnosti;
- izvršiti mjerenje radnih parametara energetski učinkovitog sustava ventilacije;
- iznijeti zaključke;
- navesti literaturu i izvore podataka.

Sažetak

U završnom radu prikazan je općeniti postupak odabira i proračuna sustava ventilacije s povratom topline koji koriste rekuperator, odnosno, regenerator topline. Ovakvi sustavi se obavezno primjenjuju na novim objektima podložnim zakonskim propisima o energetskoj učinkovitosti, a koji su propisani na nivou Europske unije a time i Republike Hrvatske. U praktičnom dijelu završnog rada, za potrebe ventilacije uredskog kontejnera, izvršen je odabir uređaja za regeneraciju topline tvrtke Hoval (tip HomeVent), te je izvršeno dimenzioniranje sustava za distribuciju zraka. Konačno, prikazan je postupak izrade sustava do potpune funkcionalnosti, te je izvršeno inicijalno mjerenje radnih parametara energetski učinkovitog sustava ventilacije.

Ključne riječi: ventilacija, regenerator topline, dimenzioniranje i izvedba sustava.

Summary (Sizing and Making an Energy-Efficient Ventilation System)

The final thesis presents the general procedure for the selection and calculation of heat recovery ventilation systems using heat recuperator or heat regenerator. Such systems must be applied to new facilities subject to legal regulations on energy efficiency, which are prescribed at the level of the European Union and thus the Republic of Croatia. In the practical part of the final thesis, for the needs of office container ventilation, the device for heat regeneration of the company Hoval (type HomeVent) was selected, and the sizing of the air distribution system was performed. Finally, the process of making the system to full functionality is presented, and the initial measurement of the operating parameters of the energy-efficient ventilation system is performed.

Keywords: ventilation, heat regenerator, sizing and system design.

SADRŽAJ

Sažetak 4

Summary 4

1. Uvod 10

2. Rekuperatori i regeneratori toplinske energije 13

2.1. Rekuperatori 13

2.2. Regeneratori 17

2.3. Koeficijent povrata temperature i vlage, učinkovitost povrata topline i stupanj djelovanja 19

3. Sustav regeneracije toplinske energije 21

3.1. Uredski kontejner 21

3.2. Hoval HomeVent FR(251) 23

3.3. Projektiranje sustava 28

3.4. Dimenzioniranje kanala i rešetki 33

3.5. Električno spajanje uređaja i izbor i smještaj dodatnih osjetnika za mjerenje temperature i vlage 40

4. Izvedba sustava regeneracije toplinske energije 43

4.1. Postavljanje uređaja i kanala 43

4.2. Postavljanje osjetnika i spajanje uređaja na električno napajanje 50

5. Mjerenje radnih parametara 54

5.1. Prvo mjerenje 56

5.2. Drugo mjerenje 67

5.3. Treće mjerenje 76

5.4. Četvrto mjerenje 85

5.5. Zaključni osvrt na rezultate mjerenja 94

6. Zaključak 95

Literatura 97

Popis slika

SLIKA 1.1 - EFEKT „STAKLENKE“ KOD DOBRO IZOLIRANIH OBJEKATA 11
SLIKA 1.2 - PRIKAZ PORASTA KONCENTRACIJE CO_2 U ZATVORENOJ SOBI KOD KORIŠTENJA RAZLIČITIH SUSTAVA VENTILACIJE 11
SLIKA 1.3 - SHEMATSKI PRIKAZ REKUPERACIJE TOPLINSKE ENERGIJE 12
SLIKA 2.1 - PRIKAZ PRINCIPA RADA PLOČASTOG IZMJENJIVAČA S UNAKRSNIM I PROTUSMJERNIM TOKOM ZRAKA 13
SLIKA 2.2 - PRIKAZ PRINCIPA RADA REKUPERATORA 14
SLIKA 2.3 - PRIKAZ POVRATA TOPLINE U REKUPERATORU (LIJEVO ZIMI, DESNO LJETI) 14
SLIKA 2.4 - PLOČASTI UNAKRSNI IZMJENJIVAČ TOPLINE PROIZVOĐAČA HOVAL - STVARNA IZVEDBA 15
SLIKA 2.5 - REKUPERATOR ZRAKA PROIZVOĐAČA DAIKIN – STVARNA IZVEDBA UREĐAJA 15
SLIKA 2.6 - REKUPERATOR S DVA IZMJENJIVAČA I POSREDNIM MEDIJEM S CIRKULACIJSKOM PUMPOM 16
SLIKA 2.7 - PRIKAZ PRINCIPA RADA ROTACIONOG REGENERATORA 18
SLIKA 2.8 - ROTACIONI IZMJENJIVAČ TOPLINE PROIZVOĐAČA HOVAL SA SORPCIJSKIM SLOJEM - STVARNA IZVEDBA 18
SLIKA 2.9 - SHEMATSKI PRIKAZ PROTOKA ZRAKA KROZ ROTACIONI REKUPERATOR/REGENERATOR 19
SLIKA 3.1 - UREDSKI KONTEJNER 21
SLIKA 3.2 - TLOCRT UREDSKOG KONTEJNERA 22
SLIKA 3.3 - HOMEVENT UREĐAJ 23
SLIKA 3.4 - HOMEVENT FR (251) UREĐAJ S PRIKAZOM CIRKULACIJE ZRAKA KROZ ROTACIONI IZMJENJIVAČ 24
SLIKA 3.5 - TOPTRONIC E UPRAVLJAČ 25
SLIKA 3.6 - TEHNIČKE KARAKTERISTIKE HOMEVENT FR(201/251/301) UREĐAJA 26
SLIKA 3.7 - DIMENZIJE HOMEVENT FR(201/251/301) UREĐAJA 27
SLIKA 3.8 - RASPODJELA PROSTORIJA PREMA FUNKCIJI I VRSTI VENTILACIJE 29
SLIKA 3.9 - MINIMALNA KOLIČINA SVJEŽEG ZRAKA PREMA POVRŠINI PROSTORA 30
SLIKA 3.10 - MINIMALNA KOLIČINA OTPADNOG ZRAKA KOJI SE IZVLAČI IZ PROSTORIJE 30
SLIKA 3.11 - MINIMALNA KOLIČINA SVJEŽEG ZRAKA KOJI SE UBACUJE U PROSTORIJU 30
SLIKA 3.12 - HOVAL KOMPONENTE SUSTAVA ZA DISTRIBUCIJU ZRAKA 31
SLIKA 3.13 - HOVAL PRIGUŠIVAČ BUKE SD 150/500 32
SLIKA 3.14 - SPIRO CIJEV ZA DISTRIBUCIJU ZRAKA 33
SLIKA 3.15 - ODREĐIVANJE PADA TLAKA KROZ SPIRO CIJEVI S POMOĆU ŠIBERA HOVAL 33
SLIKA 3.16 - REŠETKA CCV PROIZVOĐAČA KLIMAOPREMA 34
SLIKA 3.17 - PRIKAZ IZBORA MOGUĆIH REŠETKI PREMA PROGRAMU „SOLVEAIR“ 34
SLIKA 3.18 - ODABIR REŠETKE ZA DOVEDENI ZRAK U PROGRAMU „SOLVEAIR“ 35
SLIKA 3.19 - ODABIR REŠETKE ZA ODVEDENI ZRAK U PROGRAMU „SOLVEAIR“ 36
SLIKA 3.20 - ISOAFS-ALU FLEKSIBILNA CIJEV 37
SLIKA 3.21 - TEHNIČKE KARAKTERISTIKE ISOAFS-ALU FLEKSIBILNE CIJEVI 37
SLIKA 3.22 - VANJSKA REŠETKA HACO NVM 150 37
SLIKA 3.23 - TLOCRT KONTEJNERA S UCRTANOM VENTILACIJOM 38
SLIKA 3.24 - PRIKAZ KARAKTERISTIKE RADA UREĐAJA, PROTOK ZRAKA U OVISNOSTI O PADU TLAKA 40
SLIKA 3.25 - ELEKTRO SHEMA SPAJANJA UREĐAJA 41

SLIKA 3.26 - MONTAŽA UREĐAJA NA STROP 42
SLIKA 3.27 - KOMBINIRANI OSJETNICI TEMPERATURE I VLAGE SPOJENI NA UREĐAJ ZA POVEZIVANJE S RAČUNALOM 42
SLIKA 4.1 - STROP KONTEJNERA PRIJE MONTAŽE 43
SLIKA 4.2 - MONTAŽA POMOĆNIH PROFILA 43
SLIKA 4.3 - UREĐAJ POSTAVLJEN NA STROP 44
SLIKA 4.4 - POSTAVLJANJE REŠETKI NA SPIRO KANAL 45
SLIKA 4.5 - POSTAVLJANJE NOSAČA KANALA 45
SLIKA 4.6 - POSTAVLJEN ODVODNI KANAL 46
SLIKA 4.7 - POSTAVLJEN DOVODNI KANAL 46
SLIKA 4.8 - POSTAVLJEN DOVODNI KANAL 47
SLIKA 4.9 - OCRTAVANJE OTVORA 47
SLIKA 4.10 - IZREZANI OTVORI SA SPOJNICAMA 48
SLIKA 4.11 - PROTU-KIŠNE REŠETKE NVM 150 IZNUTRA 48
SLIKA 4.12 - PROTU-KIŠNE REŠETKE NVM 150 IZVANA 49
SLIKA 4.13 - REZANJE FLEKSIBILNE CIJEVI 49
SLIKA 4.14 - POSTAVLJENE FLEKSIBILNE CIJEVI 50
SLIKA 4.15 - IZBUŠENI OTVORI ZA OSJETNIKE 50
SLIKA 4.16 - POSTAVLJENI OSJETNICI NA KANALIMA DOVODA I ODVODA ZRAKA 51
SLIKA 4.17 - POSTAVLJENI OSJETNICI NA KANALE SVJEŽEG I OTPADNOG ZRAKA 51
SLIKA 4.18 - OCRTAVANJE POLOŽAJA EL. UTIČNICE ZA MONTAŽU 52
SLIKA 4.19 - POSTAVLJENA UTIČNICA I UREĐAJ SPOJEN NA NAPAJANJE 52
SLIKA 4.20 - POSTAVLJEN UPRAVLJAČ UREĐAJA 53
SLIKA 5.1 - SEK – SENSORBRIDGE SPOJEN NA OSJETNIKE 54
SLIKA 5.2 - RAČUNALO S POKRENUTIM PROGRAMOM SENSIRON CONTROLCENTER 54
SLIKA 5.3 - POSTAVLJENO DIGITALNO MJERILO POTROŠNJE EL. ENERGIJE 55
SLIKA 5.4 - POČETNO STANJE DIGITALNOG MJERILA POTROŠNJE EL. ENERGIJE 56
SLIKA 5.5 - DOBIVENI REZULTATI PRVOG MJERENJA (ZELENO – SVJEŽI ZRAK, CRVENO – OTPADNI ZRAK 57
SLIKA 5.6 - PRIKAZ POTROŠNJE EL. ENERGIJE NAKON PRVOG PROBNOG MJERENJA 58
SLIKA 5.7 - PRIKAZ PRVE TOČKE PRVOG MJERENJA U MOLLIEROVOM DIJAGRAM 59
SLIKA 5.8 - PRIKAZ DRUGE TOČKE PRVOG MJERENJA U MOLLIEROVOM DIJAGRAM 61
SLIKA 5.9 - PRIKAZ TREĆE TOČKE PRVOG MJERENJA U MOLLIEROVOM DIJAGRAM 63
SLIKA 5.10 - DOBIVENI REZULTATI DRUGOG MJERENJA (ZELENO – SVJEŽI ZRAK, CRVENO – OTPADNI ZRAK) 67
SLIKA 5.11- PRIKAZ PRVE TOČKE DRUGOG MJERENJA U MOLLIEROVOM DIJAGRAM 68
SLIKA 5.12 - PRIKAZ DRUGE TOČKE DRUGOG MJERENJA U MOLLIEROVOM DIJAGRAM 70
SLIKA 5.13 - PRIKAZ TREĆE TOČKE DRUGOG MJERENJA U MOLLIEROVOM DIJAGRAM 72
SLIKA 5.14 - PRIKAZ POČETNOG STANJA POTROŠNJE BROJILA EL. ENERGIJE 74
SLIKA 5.15 - PRIKAZ ZAVRŠNOG STANJA POTROŠNJE BROJILA EL. ENERGIJE 74
SLIKA 5.16 - DOBIVENI REZULTATI TREĆEG MJERENJA (ZELENO – SVJEŽI ZRAK, CRVENO – OTPADNI ZRAK) 76
SLIKA 5.17 - PRIKAZ PRVE TOČKE TREĆEG MJERENJA U MOLLIEROVOM DIJAGRAM 77

SLIKA 5.18 - PRIKAZ DRUGE TOČKE TREĆEG MJERENJA U MOLLIEROVOM DIJAGRAM..... 79
SLIKA 5.19 - PRIKAZ TREĆE TOČKE TREĆEG MJERENJA U MOLLIEROVOM DIJAGRAM 81
SLIKA 5.20 - PRIKAZ POČETNOG STANJA POTROŠNJE BROJILA EL. ENERGIJE 83
SLIKA 5.21 - PRIKAZ ZAVRŠNOG STANJA POTROŠNJE BROJILA EL. ENERGIJE..... 83
SLIKA 5.22 - DOBIVENI REZULTATI ČETVRTOG MJERENJA (ZELENO – SVJEŽI ZRAK, CRVENO – OTPADNI ZRAK)..... 85
SLIKA 5.23 - PRIKAZ PRVE TOČKE ČETVRTOG MJERENJA U MOLLIEROVOM DIJAGRAM..... 86
SLIKA 5.24 - PRIKAZ DRUGE TOČKE ČETVRTOG MJERENJA U MOLLIEROVOM DIJAGRAM 88
SLIKA 5.25 - PRIKAZ TREĆE TOČKE ČETVRTOG MJERENJA U MOLLIEROVOM DIJAGRAM..... 90
SLIKA 5.26 - PRIKAZ POČETNOG STANJA POTROŠNJE BROJILA EL. ENERGIJE 92
SLIKA 5.27 - PRIKAZ ZAVRŠNOG STANJA POTROŠNJE BROJILA EL. ENERGIJE..... 92

Popis tablica

TABLICA 3.1 – IZRAČUN PADA TLAKA NA DOVODNOJ STRANI REGENERATORA 39
TABLICA 3.2 – IZRAČUN PADA TLAKA NA ODVODNOJ STRANI REGENERATORA 39
TABLICA 5.1 – PRIKAZ KARAKTERISTIČNIH VRIJEDNOSTI IZMJERENIH PARAMETARA ZA PRVU TOČKU 60
TABLICA 5.2 – PRIKAZ KARAKTERISTIČNIH VRIJEDNOSTI IZMJERENIH PARAMETARA ZA DRUGU TOČKU 62
TABLICA 5.3 – PRIKAZ KARAKTERISTIČNIH VRIJEDNOSTI IZMJERENIH PARAMETARA ZA TREĆU TOČKU 64
TABLICA 5.4 – PRIKAZ KARAKTERISTIČNIH VRIJEDNOSTI IZMJERENIH PARAMETARA ZA PRVU TOČKU 69
TABLICA 5.5 – PRIKAZ KARAKTERISTIČNIH VRIJEDNOSTI IZMJERENIH PARAMETARA ZA DRUGU TOČKU 71
TABLICA 5.6 – PRIKAZ KARAKTERISTIČNIH VRIJEDNOSTI IZMJERENIH PARAMETARA ZA TREĆU TOČKU 73
TABLICA 5.7 – PRIKAZ KARAKTERISTIČNIH VRIJEDNOSTI IZMJERENIH PARAMETARA ZA PRVU TOČKU 78
TABLICA 5.8 – PRIKAZ KARAKTERISTIČNIH VRIJEDNOSTI IZMJERENIH PARAMETARA ZA DRUGU TOČKU 80
TABLICA 5.9 – PRIKAZ KARAKTERISTIČNIH VRIJEDNOSTI IZMJERENIH PARAMETARA ZA TREĆU TOČKU 82
TABLICA 5.10 – PRIKAZ KARAKTERISTIČNIH VRIJEDNOSTI IZMJERENIH PARAMETARA ZA PRVU TOČKU 87
TABLICA 5.11 – PRIKAZ KARAKTERISTIČNIH VRIJEDNOSTI IZMJERENIH PARAMETARA ZA DRUGU TOČKU 89
TABLICA 5.12 – PRIKAZ KARAKTERISTIČNIH VRIJEDNOSTI IZMJERENIH PARAMETARA ZA TREĆU TOČKU..... 91

1. Uvod

Ulaskom u Europsku Uniju Republika Hrvatska se obvezala primjenjivati zakonske propise koji se donose na nivou Europskog parlamenta kao i Europskog vijeća. Europska unija se protokolom iz Kyota obvezala, između ostalog, da će reducirat emisiju ugljičnog dioksida za 20% do 2020. Dokument kojim se nastoje ispuniti ove obveze se naziva „ErP Directive 2009/125/EC“ što je skraćeno od „Energy-related Product Directive“, također poznata i kao „Ecodesign Directive“ [1]. Ova direktiva je dala zakonski okvir za proizvodnju energetski učinkovitih proizvoda, kojima se smanjuje potrošnja energije. Osim ove direktive donesena je i Direktiva 2012/27/EU o energetskoj učinkovitosti kojom se nadopunjuje direktiva iz 2009. Slijedom tih zakonskih akata, Republika Hrvatska je prenijela u svoj zakonodavni sustav ove Direktive te je na osnovu Uredbe (EU) br. 2017/1369 donijela „Zakon o energetskoj učinkovitosti“ [2]. Svrha ovog zakona je ostvarivanje sljedećih ciljeva održivog energetskog razvoja: smanjenje negativnih utjecaja na okoliš iz energetskog sektora, poboljšanje sigurnosti opskrbe energijom, zadovoljavanje potreba potrošača energije, te ispunjavanje međunarodnih obveza Republike Hrvatske u području smanjenja emisije stakleničkih plinova i to poticanjem mjera energetske učinkovitosti u svim sektorima potrošnje energije. Posljedica ovoga su i promijene unutar „Zakona o gradnji“ (NN125/19) [3], kojim se u članku 21. propisuje da sve nove zgrade koje se grade na području Republike Hrvatske moraju biti „zgrade gotovo nulte energije“. Ovakve zgrade će u Iskaznici energetskih svojstava zgrade i energetskom certifikatu zgrade imati oznaku „nZEB“.

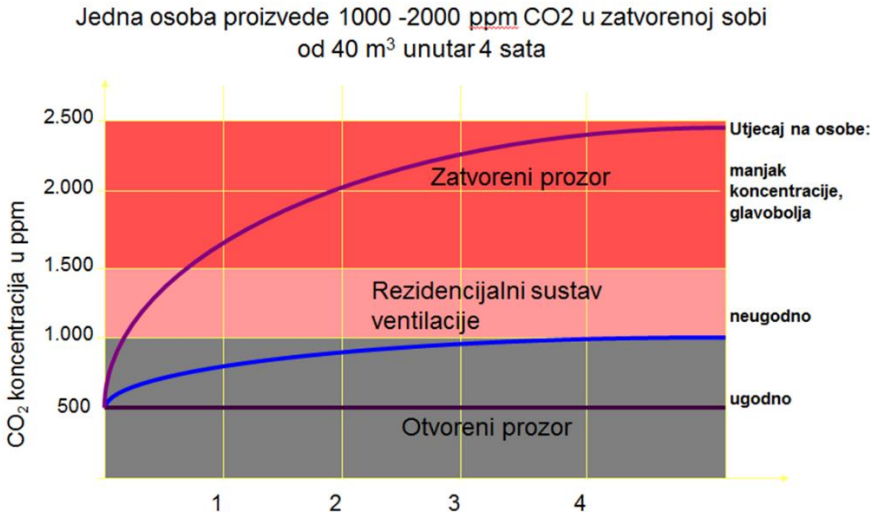
Primjena ovih zakonskih propisa na zgradama ima za rezultat povećanje debljine toplinske izolacije ovojnice zgrade, kao i kvaliteta i brtvljenje stolarije (prozori i vrata). Time se postiglo smanjenje gubitaka energije za grijanje i hlađenje objekta, ali se istovremeno pojavio problem s ventilacijom zgrada. Naime, odlično brtvljenje vanjske ovojnice zgrade je smanjilo mogućnost prirodne ventilacije, tj. broj izmjena zraka unutar objekta prirodnim putem. Pojavio se takozvani učinak „staklenke“ (Slika 1.1) koji je doveo do toga da i novi kao i obnovljeni objekti imaju sljedeće probleme:

- problem s odvodnjom neugodnih mirisa i štetnih tvari
- pojava oštećenja zidova zbog vlage, te pojava plijesni
- „klasična“ ventilacija otvaranjem prozora nije moguća zbog gubitaka topline čime se gubi oznaka gotovo nulte energije „nZEB“.



Slika 1.1 – Učinak „staklenke“ kod dobro izoliranih objekata [5]

Ispitivanjem je utvrđeno da jedna osoba proizvede između 1000 do 2000 ppm ugljičnog dioksida (CO_2) tijekom jednog sata. Na slijedećem dijagramu (Slika 1.2) je prikazano mjerenje koncentracije CO_2 koju jedna osoba proizvede tijekom 4 sata u zatvorenoj prostoriji volumena 40 m^3, pri čemu su korišteni različiti sustavi ventilacije.

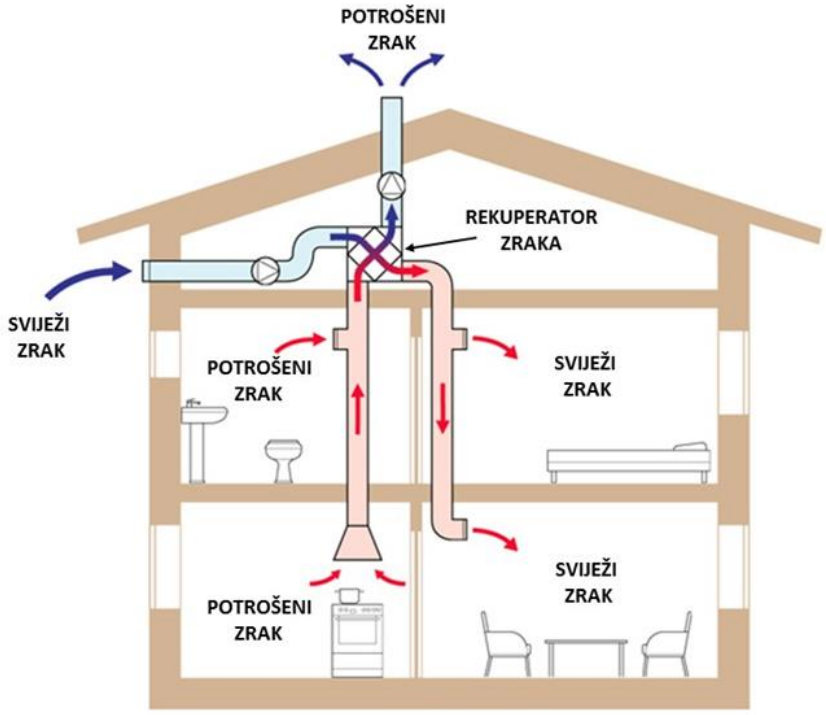


Slika 1.2 - Prikaz porasta koncentracije CO2 u zatvorenoj sobi kod korištenja različitih sustava ventilacije [5]

Iz dijagrama na prethodnoj slici (Slika 1.2) je vidljivo da u slučaju kada ne postoji nikakva ventilacija u prostoru, koncentracija CO_2, tijekom 4 sata boravka osobe u takvoj prostoriji raste do razine pri kojoj se javlja pojava neugode (od 1000 do 1500 ppm CO_2), manjak koncentracije i pojava glavobolje (od 1500 do 2500 ppm CO_2). Također se vidi da prilikom držanja otvorenog prozora ne dolazi do povećanja koncentracije CO_2 koja ostaje u granici do 1000 ppm CO_2, ali je ovo rješenje nepovoljno iz razloga povećanja toplinskih gubitaka te ne predstavlja prihvatljivo rješenje za ventilaciju prostora. Zbog ovoga se javila potreba za rješenjima ventilacije koja omogućuju povrat toplinske energije u objektu uz održavanje kvalitete zraka u ugodnom području. Svrha ovakvih rješenja je povrat toplinske energije najviše zbog ekonomskih i ekoloških razloga, pogotovo kod objekata koji imaju veliku količinu latentne topline u onečišćenom zraku, kao što su kuhinje, bazenski kompleksi i sl., ali i „obične“ stambene zgrade, tj. stanovi s više stanara.

U izvedbenom smislu postoje dva sustava povrata topline prilikom ventilacije prostora i to:

- rekuperatori (načelo korištenja senzibilne, tj. osjetne topline; Slika 1.3)
- regeneratori (načelo korištenja osjetne i latentne topline)

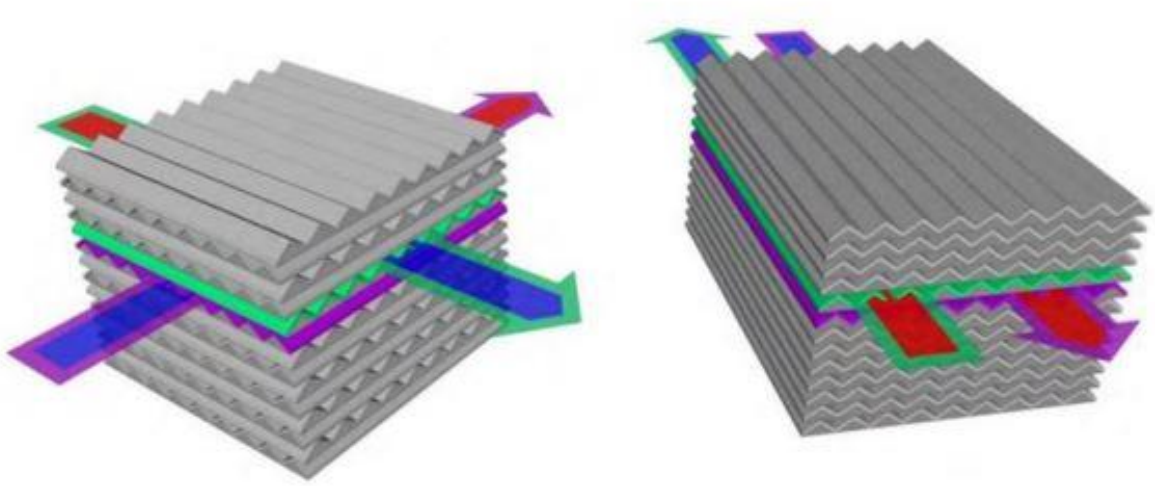


Slika 1.3 - Shematski prikaz rekuperacije toplinske energije [8]

2. Rekuperatori i regeneratori toplinske energije

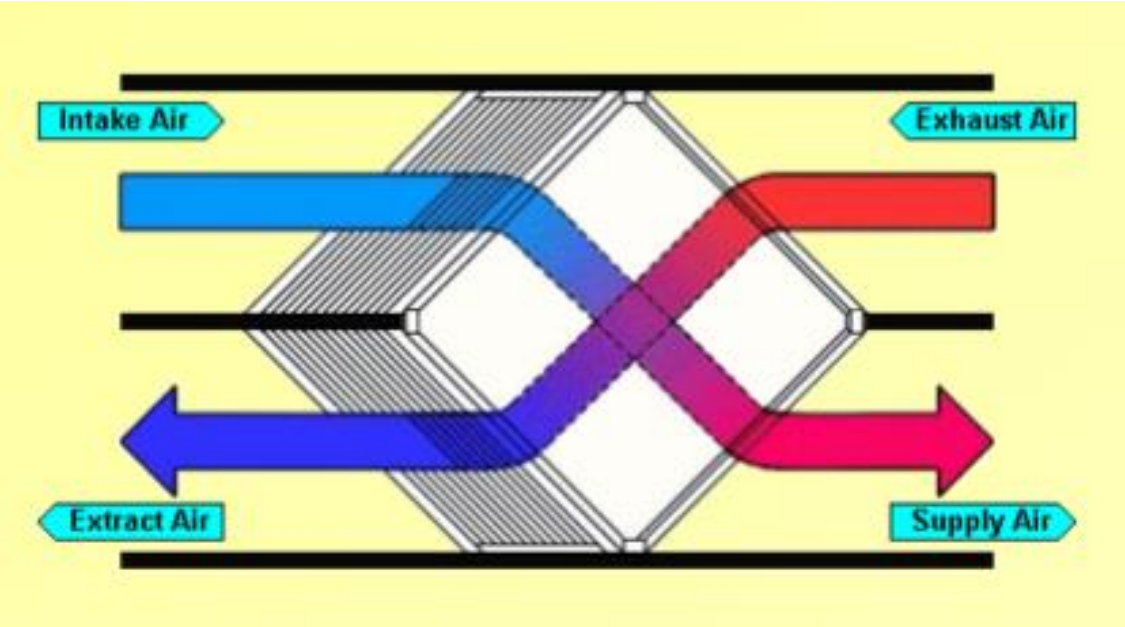
2.1. Rekuperatori

Rekuperatori su uređaji koji omogućuju povrat toplinske energije prilikom ventilacije objekta [14]. Zbog cijene kao i jednostavnije izvedbe samoga uređaja u odnosu na regeneratore ovi uređaji se više koriste. Najčešća izvedba rekuperatora je s pločastim izmjenjivačem topline. Ovakav tip izmjenjivača se sastoji iz više spojenih lamela preko kojih struji svježi i otpadni zrak, a da pri tome ne dolazi do međusobnog miješanja tj. oni nisu u doticaju jedna s drugim. Prijenos topline se ostvaruje preko lamela izmjenjivača. Tok jedne struje zraka u odnosu na drugu može se razlikovati ovisno o konfiguraciji izmjenjivača. Struje zraka mogu teći okomito jedna na drugu (unakrsni tip) ili suprotno jedna na drugu (protusmjerni tip) kao što je prikazano na Slici 2.1.

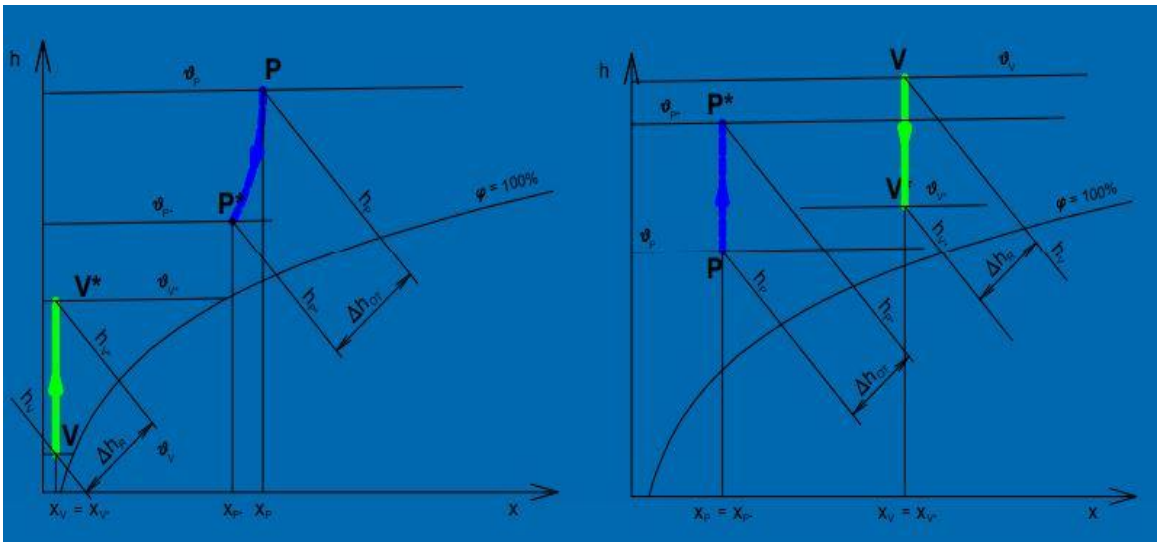


Slika 2.1 - Prikaz principa rada pločastog izmjenjivača s unakrsnim i protusmjernim tokom zraka [7]

Iako je tip izmjenjivača s protustrujnim strujanjem zraka kroz izmjenjivač efikasniji u prijenosu topline, teži je za izradu, stoga se u praksi češće pojavljuje tip s križnim strujanjem zraka kroz izmjenjivač. Efikasnost izmjenjivača zraka s križnim strujanjem zraka može se povećati izmjenom veličine izmjenjivača, ali samo u uvjetima kada postoji dovoljno prostora za montažu. S druge strane se stalnim istraživanjima novih materijala i njihovom primjenom u izradi lamela nastoji postići povećanje efikasnosti izmjenjivača.



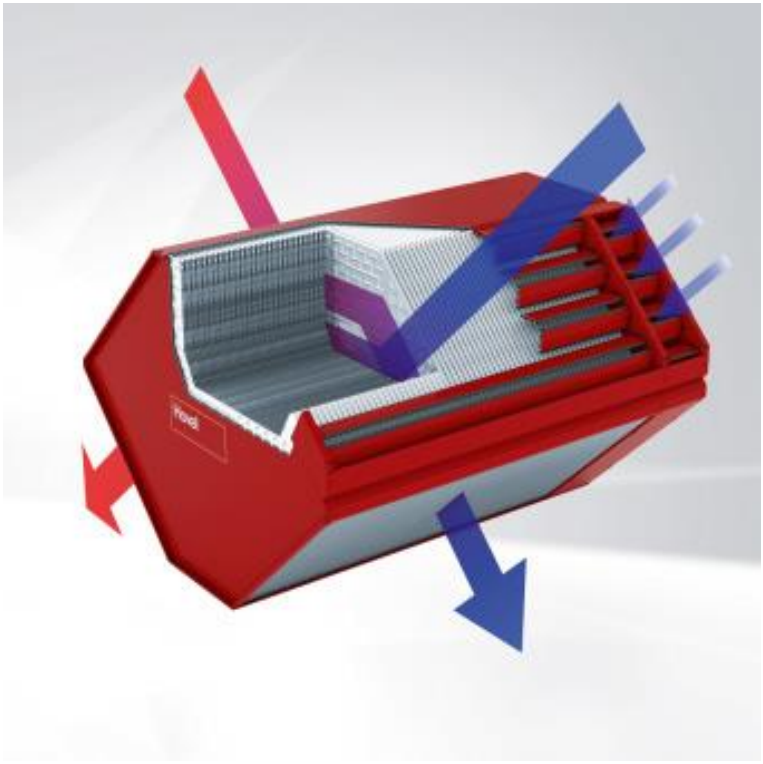
Slika 2.2 - Prikaz principa rada rekuperatora [5]



Slika 2.3 - Prikaz povrata topline u rekuperatoru (lijevo zimi, desno ljeti) [9]

Princip rada temelji se na prijenosu osjetne topline putem površina lamela za izmjenu topline, prikazano na Slikama 2.2 i 2.3. Svježi vanjski zrak ulazi u rekuperator, struji kroz izmjenjivač topline gdje se preko lamela izmjenjivača zagrijava (Slika 2.4) toplinom koju je predao topli otpadni zrak iz unutarnjeg prostora. Svježi zrak koji je sada zagrijan se ubacuje u prostor putem svog sustava kanala, a sustav kanal otpadnog zraka izvlači ustajali zrak iz prostora. Otpadni zrak predaje svoju toplinu u izmjenjivaču te se ohlađen izbacuje izvan prostor (u okoliš). Svaki

od ova dva sustava, odvoda i dovoda zraka, imaju jedan ili više ventilatora (Slika 2.5) koji rade istovremeno i tako tvore jedan uređaj s uravnoteženim sustavom ventilacije koji dovodi i odvodi istu količinu zraka u prostor. Tijekom ljetnih mjeseci postoji mogućnost rošenja lamela izmjenjivača te ovi uređaji često imaju i posebnu posudu za skupljanje kondenzirane vode (kondenzata), a kao i dodatna opcija se može ugraditi i pumpa za odvod kondenzata u slučaju kada se odvodnja ne može ostvariti prirodnim padom.



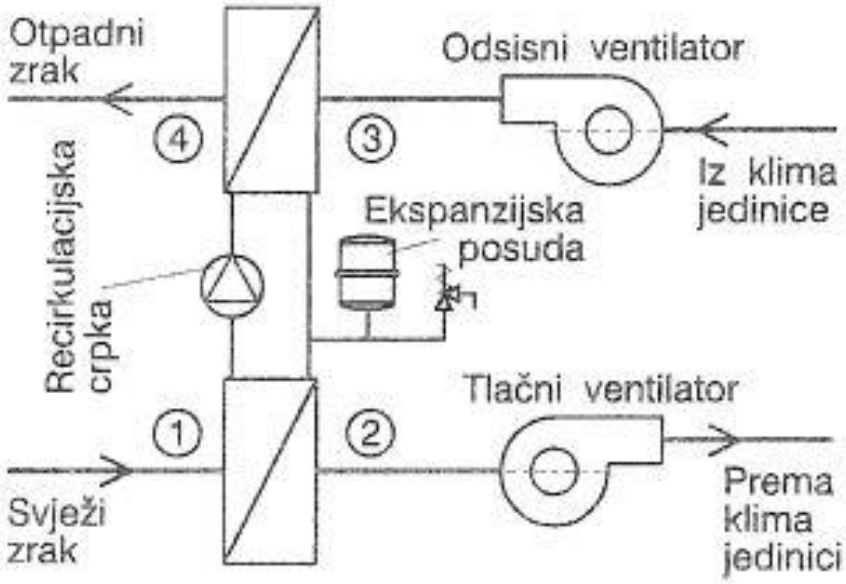
Slika 2.4 - Pločasti unakrsni izmjenjivač topline proizvođača Hoval - stvarna izvedba [6]



Slika 2.5 - Rekuperator zraka– stvarna izvedba uređaja [10]

Poseban problem za ove uređaje predstavlja mogućnost smrzavanja kondenzata tijekom hladnijih vremenskih perioda, prilikom čega dolazi do smanjenja protoka zraka, te postoji mogućnost oštećenja izmjenjivača. Zbog toga se u struju svježeg zraka najčešće ugrađuje električni grijač koji podiže temperaturu svježeg zraka prije nego taj zrak dođe do izmjenjivača. Osim toga primjenjuju se i druga tehnička rješenja kao što su ukopavanje dovodnog kanala svježeg zraka u tlo, na dubinu koja je veća od dubine smrzavanja tla, te elektronska regulacija ventilatora kojom se smanjuje dotok svježeg hladnog zraka na izmjenjivač.

Osim gore opisanog rekuperatora postoje i rekuperatori s rotacionim izmjenjivačem, te u slučajevima kada postoji ograničenje prostora postoje rekuperatori s dva izmjenjivača (Slika 2.6) koji su fizički odvojeni, a toplina se prenosi posrednim medijem pomoću cirkulacijske crpke, gravitacijskim strujanjem ili kapilarno (toplinska cijev).



Slika 2.6 - Rekuperator s dva izmjenjivača i posrednim medijem s cirkulacijskom pumpom [9]

Izmjenjivači topline se najčešće izrađuju od različitih metalnih limova, ali se u posljednje vrijeme sve više koriste i drugi materijali kao što su neke posebne vrste papira te različiti polimerni materijali.

Učinkovitost rekuperatora se kreče najčešće od 50-75 % ovisno o izvedbi.

2.2. Regeneratori

Uređaj koji osim osjetne topline prenosi i latentnu toplinu te ima mogućnost regulacije vlage u zraku se naziva regenerator. Ovaj tip uređaja se pokazao izuzetno koristan u područjima gdje je klima jako vruća i vlažna te se pomoću ovih uređaja regulira količina vlage koja se ubacuje u prostor, kao i u područjima s hladnom i suhom klimom gdje uređaj ovog tipa pomaže kod održavanja odgovarajuće relativne vlage zraka unutar prostora.

Regeneratori se prema izvedbi mogu svrstati u dva osnovna tipa:

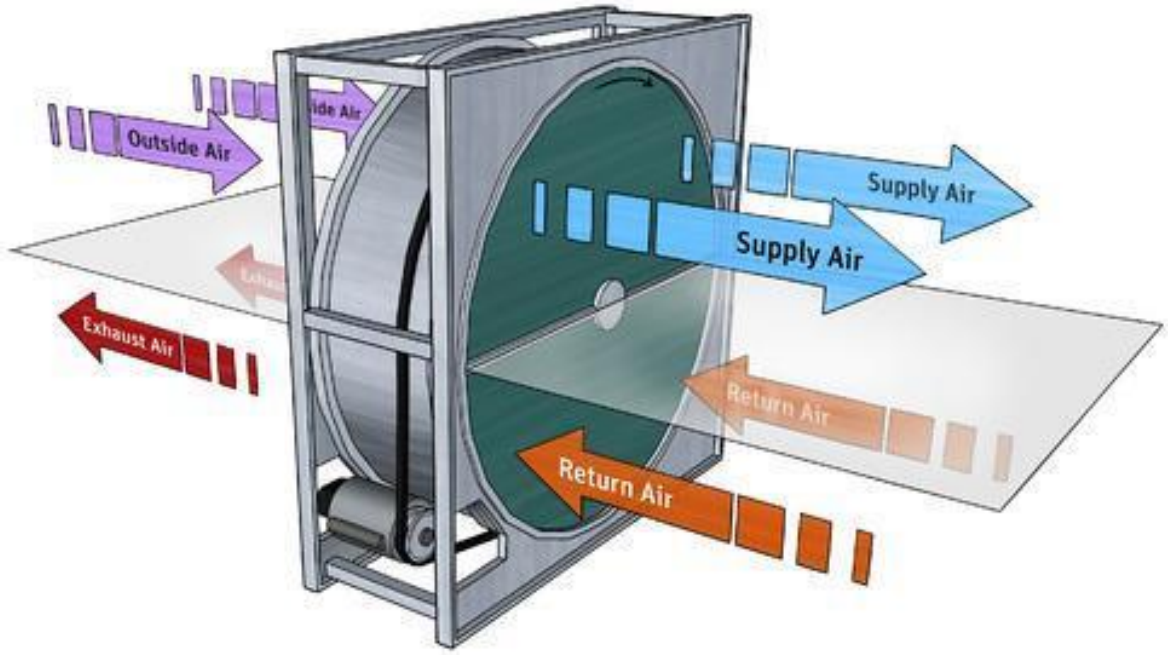
- Sorpcijski
- Kondenzacijski

2.2.1 Sorpcijski regenerator

Sorpcijski regenerator se sastoji od kućišta, elektromotornog pogona i saćastog rotora. Rotor sorpcijskog regeneratora sa saćem je presvučen posebnim higroskopskim materijalom (tip ovisi o proizvođaču) koji zahvaljujući svojim svojstvima upija dio vlage iz zraka te ga predaje u struju zraka koja sadrži manje vlage. Princip rada ovog tipa regeneratora (Slika 2.7) se temelji na izmjeni toplinske energije između dvije protusmjerne struje zraka koje se nalaze u zasebnim kanalima. Izmjena topline i vlage se vrši preko rotirajućeg saćastog izmjenjivača presvučenog sorpcijskim slojem. Izmjenjivač preuzima toplinsku energiju od toplije struje zraka te je prenosi na hladniju struju, dok sorpcijski sloj (Slika 2.8) na izmjenjivaču preuzima vlagu iz zraka koji sadrži više vlage te je predaje zraku koji sadrži manju količinu vlage. Promjenom broja okretaja saćastog izmjenjivača te promjenom brzine strujanja zraka kroz izmjenjivač na strani svježeg i otpadnog zraka, može se regulirati količine vlage u zraku, te se postići velika efikasnost povrata topline i vlage. Glavni nedostatak ovog tipa izmjenjivača je mogućnost miješanja struja svježeg ili otpadnog zraka, uslijed nedovoljnog brtvljenja između kanala na rotoru izmjenjivača kao i zadržavanja dijela zraka unutar saća izmjenjivača koji se kasnije miješa s otpadnim ili svježim zrakom ovisno o tlaku jedne ili druge struje zraka.

Problem miješanja zraka se rješava različitim tehničkim rješenjima a jedan od njih je montaža elementa koji se naziva ustava. Također je jedan od nedostataka i utrošak električne energije na električnom motoru pogona rotora izmjenjivača.

Učinkovitost ovog tipa uređaja penje se i do 90 % kod nekih proizvođača.



Slika 2.7 - Prikaz principa rada rotacionog regeneratora [11]



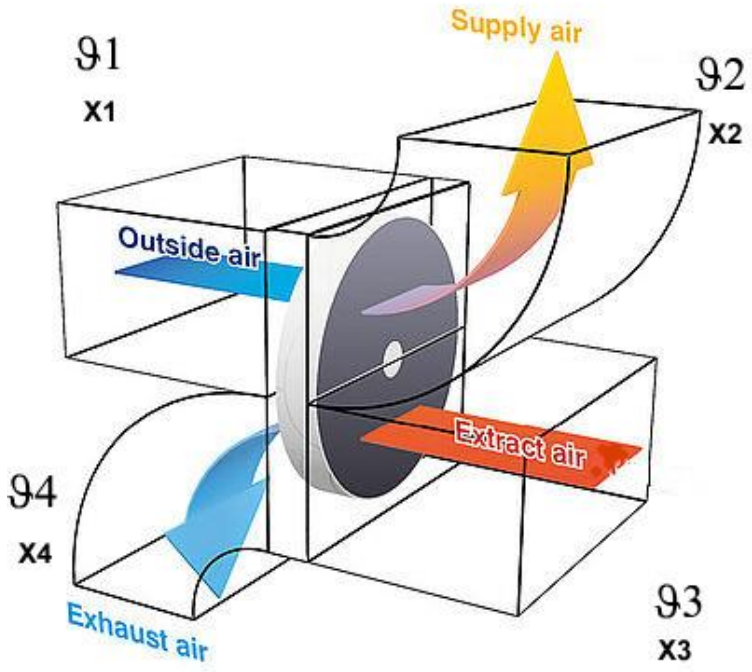
Slika 2.8 - Rotacioni izmjenjivač topline proizvođača Hoval sa sorpcijskim slojem - stvarna izvedba [6]

2.2.2 Kondenzacijski regenerator

Kondenzacijski regeneratori su u principu identične konstrukcije kao i sorpcijski, s tom razlikom da u samom izmjenjivaču dolazi do kondenzacije hlađenjem otpadnog zraka do temperature rošenja. Na ovaj način se ostvaruje i djelomičan povrat latentne topline.

2.3. Koeficijent povrata temperature i vlage , učinkovitost povrata topline i stupanj djelovanja

Kako bi se mogli uspoređivati regeneratori i rekuperatori, tj. kako bi se mogle uspoređivati njihove radne značajke (Slika 2.9), uvedeni su koeficijenti povrata topline i vlage.



Slika 2.9 - Shematski prikaz protoka zraka kroz rotacioni rekuperator/regenerator [12]

2.3.1. Koeficijent povrata topline

$$\phi_2 = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{\vartheta_3 - \vartheta_1}$$ - sa strane svježeg vanjskog zraka (2.1)

$$\phi_1 = \frac{\vartheta_3 - \vartheta_4}{\vartheta_3 - \vartheta_1}$$ - sa strane otpadnog zraka (2.2)

2.3.2. Koeficijent povrata vlage

$$\psi_2 = \frac{x_2 - x_1}{x_3 - x_1}$$ - sa strane svježeg vanjskog zraka (2.3)

$$\psi_1 = \frac{x_3 - x_4}{x_3 - x_1}$$ - sa strane otpadnog zraka (2.4)

2.3.3. Učinkovitost povrata topline

$$\eta_t = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{\vartheta_3 - \vartheta_1}$$ - koeficijent učinkovitosti povrata topline (2.5)

- koeficijent učinkovitosti povrata topline predstavlja omjer razlike temperatura na koju je zagrijan svježi zrak i najveće moguće razlike temperatura na koju se on može zagrijati

2.3.4. Stupanj djelovanja

$$\eta_{sd} = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{\vartheta_{2N} - \vartheta_1}$$ - stupanj djelovanja (2.6)

- stupanj djelovanja je pokazatelj koliko je zagrijavanje svježeg zraka učinkovito u odnosu na zahtjeve za grijanjem

Pri čemu su:

ϑ_1, ϑ_2 - temperatura svježeg zraka na ulazu i na izlazu iz uređaja , °C

ϑ_3, ϑ_4 - temperatura otpadnog zraka na ulazu i na izlazu iz uređaja , °C

ϑ_{2N} - potrebna (najviša) temperatura zraka koji ulazi u prostorije , °C

x_1, x_2 - apsolutna vlažnost svježeg zraka na ulazu i na izlazu iz uređaja , g/kg

x_3, x_4 -apsolutna vlažnost otpadnog zraka na ulazu i na izlazu iz uređaja , g/kg

3. Sustav regeneracije toplinske energije

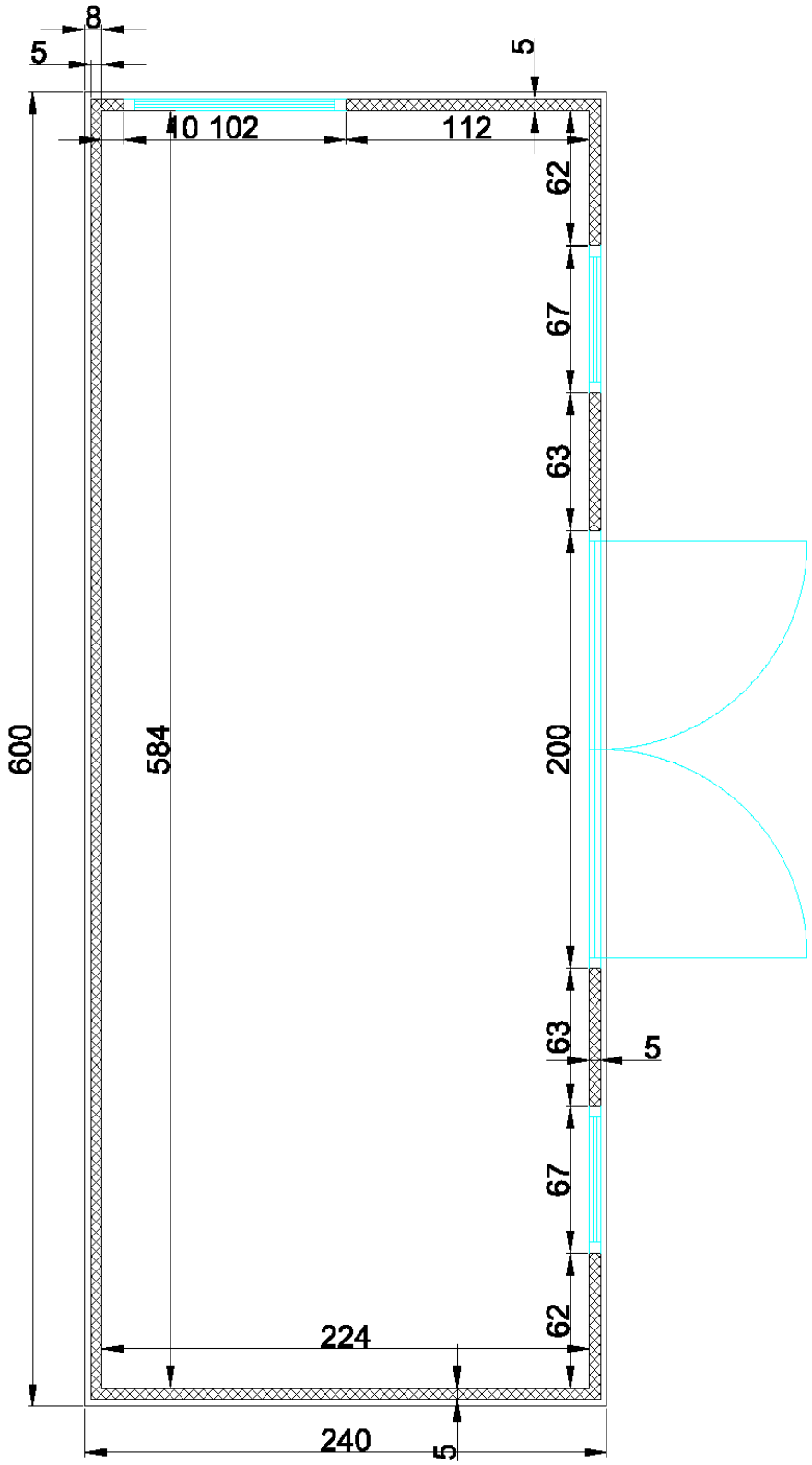
U svrhu demonstracije postupka projektiranja sustava ventilacije s primjenom rekuperatora ili regeneratora, kao primjer odabran je uredski kontejner proizvođača KOVA d.o.o. iz Samobora [15], koji će simulirati niskoenergetski objekt ili zgradu „gotovo nulte energije“. Kao rekuperatorski uređaj će se koristiti regenerator, tip HomeVent FR(251) proizvođača Hoval. Konačno, postupkom projektiranja izvršiti će se odabir opreme, kanalnog razvoda, distribucijskih rešetki, načina ovješenja uređaja i kanala za strop uredskog kontejnera, izvođenje električne instalacije te postavljanje mjernih osjetnika i upravljača uređaja.

3.1. Uredski kontejner

Uredski kontejner je izgrađen na način da su se na čeličnu pod konstrukciju, izrađenu od hladno-valjanih profila debljine 3 mm, kao zidovi postavili „sendvič“ paneli koji između dva lima imaju termoizolaciju debljine 50 mm. Krov kontejnera po čitavom obodu izveden je kao kompletna cjelina, izrađena od poliesterskog laminata radi 100% vodo nepropusnosti. Krov se još sastoji od termoizolacije debljine 100 mm, parne brane te završnog stropa od iverala. Pod je s donje strane zatvoren limom. Sastoji se od sloja termoizolacije debljine 100 mm, OSB ploče debljine 20 mm i završnog sloja laminata. Električna instalacija u kontejneru je izvedena nad-zidno u PVC kanalicama. Instaliran je i razvodni elektro ormar s automatskim osiguračima i FID sklopkom. S prednje strane su izvedena dva prozora i ulazna dvokrilna vrata radi lakšeg unosa opreme (Slike 3.1 i 3.2).



Slika 3.1 - Uredski kontejner [13]



Slika 3.2 - Tlocrt uredskog kontejnera [13]

3.2. Hoval HomeVent FR(251)

Regenerator Hoval HomeVent FR(251) je ventilacijski uređaj za manje stambene objekte, građene kao pasivne kuće ili kuće nulte energije, gdje se upotrebljava kao centralna jedinica za dobavu svježeg zraka i odvođenje otpadnog zraka uz povrat topline i vlage (Slika 3.3).



Slika 3.3 - HomeVent uređaj [4]

Osnovne karakteristike uređaja su navedene u okviru stavki u nastavku.

3.2.1. Povrat energije

Ugrađeni rotacioni rekuperator, sa sorpcijskim slojem, oduzima energiju otpadnom zraku te je predaje svježem zraku uz inteligentnu regulaciju količine vlage u zraku (Slika 3.4).

Prednosti ovoga tipa izmjenjivača su slijedeće:

- Temperaturna efikasnost do 90%
- Povrat vlage do 95%
- Bez stupanjska kontrola prijenosa energije
- Nije potrebno predgrijavanje svježeg zraka (sve do -20°C vanjske temperature)
- Bez stvaranja kondenzata u uređaju
- Nije potrebna premosnica („bypass“) u protoku zraka



Slika 3.4 - HomeVent FR (251) uređaj s prikazom cirkulacije zraka kroz rotacioni izmjenjivač [4]

3.2.2. Filtriranje zraka

Vanjski zrak prolazi kroz dvostruki sustav filtracije. Prvi filter je periva mrežica koja zadržava krupnije nečistoće kao što su lišće, insekti i sl., dok je drugi filter visoko učinkoviti filter koji zaustavlja sitne čestice kao što je pelud, fina prašina i slično. Ovaj filter je klase F7. Otpadni zrak se također filtrira prije prolaska kroz rotacioni izmjenjivač i to filterom klase G4.

3.2.3. Ventilatori

Unutar uređaja su ugrađena dva elektronski regulirana ventilatora s unatrag zakrenutim krilcima, radi što veće učinkovitosti i tihog rada. Pomoću elektronske regulacije rad ventilatora se može podesiti između 15 % i 100 % protoka zraka. Ventilatori su postavljeni tako da ne može doći do miješanja zraka unutar uređaja.

3.2.4. Rad zimi i ljeti i kvaliteta zraka

Zbog ugrađenog entalpijskog regeneratora unutar uređaja ne postoji mogućnost nastanka kondenzata te zbog toga uređaj može nesmetano raditi do -20°C vanjske temperature. Prilikom ljetnog režima rada uređaj može raditi u tzv. „free cooling“ modu ili noćnom radu pri kojem uređaj u prostor ubacuje hladniji noćni zrak, a isto tako prilikom ljetnog režima rada uređaj aktivira „CoolVent“ opciju te u ovom slučaju rashlađuje svježi vanjski zrak i suši ga te na taj način održava vlažnost zraka u prostoru. Kao opcija u uređaj se mogu ugraditi VOC (eng. Volatile Organic Components) osjetnici, koji prate kvalitetu svježega i otpadnog zraka tj. mjere sadržaj lako-hlapljivih organskih tvari u zraku. S pomoću ovih osjetnika može se pratiti primjerice zagađenost zraka duhanskim dimom, različitim organskim mirisima i sl., te na osnovu toga uređaj prilagođava svoj rad sukladno podacima dobivenim od osjetnika.

3.2.5. Upravljanje

Upravljanje uređajem se obavlja preko sobnog upravljačkog modula TopTronic E s ugrađenim ekranom osjetljivim na dodir, dijagonale 4.3“. Upravljač se na uređaj spaja preko UTP kabela Cat.5 s RJ45 konektorima. Komunikacija uređaja i upravljača je preko BUS veze. Uređaj se može spojiti u mreži s bilo kojim Hoval proizvodom, te se preko mrežnog modula može spojiti na Internet. Kada je uređaj spojen na Internet upravljanje uređajem se može vršiti putem aplikacije na mobilnim uređajima te preko Internet preglednika na bilo kojem računalu.



Slika 3.5 - TopTronic E upravljač [4]

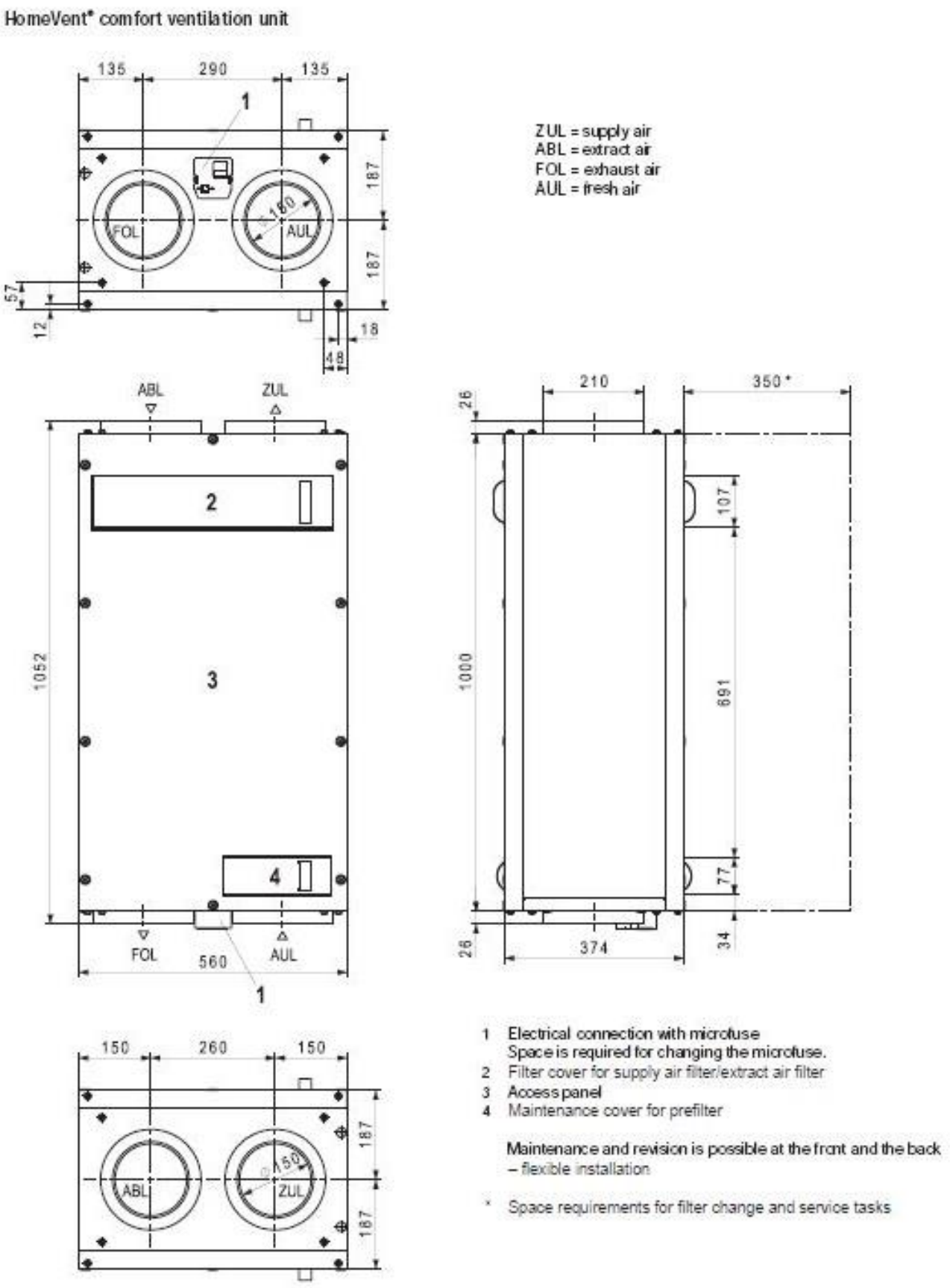
3.2.6. Tehničke karakteristike

U priloženoj tablici (Slika 3.6) se mogu vidjeti tehničke karakteristike uređaja, a na Slici 3.7 dimenzije uređaja.

HomeVent® comfort FR ventilation unit (201, 251, 301)

Type		(201)	(251)	(301)
Max. volume flow (at 100 Pa external pressure*)	m³/h	200	250	300
Air flow rate control range	m³/h	40-200	50-250	60-300
Humidity setpoint setting	%		30 ... 65	
Electrical connection				
• Voltage (AC)	V		230	
• Frequency	Hz		50	
• Max. current consumption	A	0.76	1.04	1.23
• cos ρ (mean value)		0.44	0.44	0.48
Type of protection			IP 40	
Power consumption (at 70 % of the max. volume flow, 50 Pa external pressure)	W	38	50	60
Degree of heat processing (as per DIN 4719)	%		90-130	
Temperature ratio (at 70 % of the max. volume flow)	%	84	84	85
Humidity ratio (at 70 % of the max. volume flow)	%	91	90	90
Specific fan power SFP (at 70 % of the max. volume flow)	W/m³/h	0.26	0.27	0.28
Filter class (as per ISO-16890)				
• Supply air filter			$ePM_{1,0}$ 50 %	
• Extract air filter			ePM_{10} 50 %	
Sound power level			see table on following page	
Leakage (as per EN 13141-7)				
• Internal	%		< 1	
• External	%	1.64	1.31	1.09
Net weight	kg		33	
Application limits for device setup, weather-protected (EN 60721-3-3), 3K5 as per EN 50090-2-2				
• Ambient temperature	°C		-20...45	
• Ambient humidity	g/kg		Max. 15	
• Dew point temp. in installation room	°C		< 15	
Air conditions (moderate outdoor climate EN 60721-2-1)				
• Outside air intake temperature	°C		-20...40	
• Outside air intake humidity	% r.H.		5...95	
• Extract air temperature	°C		5...35	
• Extract air humidity	% r.H.		5...80	
• Max. extract air humidity	g/kg		12	

Slika 3.6 - Tehničke karakteristike HomeVent FR(201/251/301) uređaja [4]



Slika 3.7 - Dimenzije HomeVent FR(201/251/301) uređaja [4]

3.3. Projektiranje sustava

Pri projektiranju sustava ventilacije za stambene objekte kao što su pasivne kuće i kuće s nultim utroškom energije potrebno je pridržavati se preporuka proizvođača uređaja za regeneraciju zraka. U tehničkom katalogu uređaja, proizvođač daje upute za projektiranje i način određivanja količina potrebnog svježeg zraka po prostoriji odnosno prema broju osoba koje borave u prostoru. U sljedećim poglavljima prikazan je proces projektiranja sustava kako ga preporučuje proizvođač regeneratora, tvrtka Hoval.

3.3.1. Relevantni standardi i propisi kojih se treba pridržavat pri projektiranju

Proizvođač je naveo nekoliko relevantnih standarda i propisa kojih se pridržavao u svojim preporukama za projektiranje sustava ventilacije:

- DIN 1946-T6 – regulirana mehanička ventilacija dovoda i odvoda zraka za stambene prostore s rekuperacijom topline
- DIN 4109 – zvučna izolacija u graditeljstvu
- DIN EN 779:2012 Pojedinačni filteri zraka za opću ventilaciju – određivanje karakteristika filtriranja
- DIN 18017-T3 – ventilacija kupatila i WC-a bez vanjskih otvora (prozora)
- Pravilnik o očuvanju energije EnEV
- Smjernice za ventilacijske sustave LuAR

Ovo je samo dio standarda i propisa koje treba uzeti u obzir. Za pojedino područje montaže uređaja potrebno se pridržavati i lokalnih zakonskih propisa i preporuka.

3.3.2. Potrebni ulazni podaci za projektiranje sustava i opće smjernice

Za pravilno projektiranje sustava ventilacije potrebni su sljedeći ulazni podaci:

- Tip, broj, površina prostorija koje će se ventilirati s označenom namjenom prostorije.
- Tlocrti i presjeci stambenih prostora s jasno označenim dimenzijama.
- Naznačeni pravci polaganja razvodnih kanala, te položaj rešetki za ubacivanje svježeg i odvodnju otpadnog zraka iz prostora.

Osim toga potrebno se pridržavati nekih općih smjernica prilikom projektiranja sustava, kao što su:

- Jedan ventilacijski uređaj može pokrivati samo jednu stambenu jedinicu.
- Protupožarni uvjeti se moraju uskladiti prema preporukama inspektora za protupožarnu zaštitu.
- Uređaji ne mogu izvesti sušenje stambenih prostora u novogradnji. Isušivanje se treba obaviti prije puštanja u rad sustava ventilacije.
- Ovisno o namjeni, prostorije se dijele na prostorije u kojima se dovodi zrak, prostorije za prestrujavanje zraka te prostorije za izvlačenje otpadnog zraka (Slika 3.8).
- Samo u iznimnim slučajevima prostorije mogu imati i dovod i odvod zraka.
- Prostorije u kojima se izvodi ventilacija moraju biti unutar izoliranog dijela stambenog objekta.

Table 1

Zone	Room use (examples)
Supply air zone	Bedroom, living room, nursery, dining room
Overflow zone	Corridor, hallway, stairway
Extract air zone	Bathroom, toilet, storage room, kitchen, hall

Slika 3.8 - Raspodjela prostorija prema funkciji i vrsti ventilacije [4]

3.3.3. Vrijednosti protoka zraka

Potrebna količina zraka koji se dovodi/odvodi u i iz nekog objekta mora se posebno proračunati za svaki objekt. Pri tome valja paziti i na specifične zahtjeve, kao što su količina vlage, buka te temperatura objekta. Slijedeće preporuke za projektiranje dane su prema DIN 1946 dio 6. Ove preporuke se moraju provjeriti za svaki objekt zasebno.

Najveća vrijednost protoka zraka koja se odabire prema slijedeće četiri točke, uzima se kao osnova za ventilaciju objekta. Maksimalna količina protoka zraka ventilacijskog uređaja mora zadovoljiti slijedeće vrijednosti:

1. – ukupni protok zraka po osobi u prostoru iznosi minimalno 30 m^3/h svježeg zraka
2. – protok svježeg zraka mora zadovoljiti vrijednosti s obzirom na površinu prostorije (Slika 3.9)

3. – protok otpadnog zraka mora zadovoljiti vrijednosti s obzirom na namjenu prostorije (Slika 3.10)
4. – protok svježeg zraka mora zadovoljiti vrijednosti s obzirom na namjenu prostorije (Slika 3.11)

Table 2

Relevant surface A_{NE} [m²]	20	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210
Nominal ventilation $V_{R,NL}$ [m³/h]	35	45	65	80	100	115	125	140	150	155	165

Slika 3.9 - Minimalna količina svježeg zraka prema površini prostora [4]

Table 3: extract air

Room type	Extract air [m³/h]	n *
Kitchen, kitchenette	40	2
Bathroom, toilet with shower	40	2
Toilet	20	1
Utility room, hobby room	20	1

* n = usual number of flexible pipes

Slika 3.10 - Minimalna količina otpadnog zraka koji se izvlači iz prostorije [4]

Table 4: supply air

Room type	Extract air [m³/h]	n *
Living room	40-50	2
Master bedroom (2 persons)	40	2
Nursery (1 person)	24	1
Office (private), dining room, guestroom	20	1

* n = usual number of flexible pipes

Slika 3.11 - Minimalna količina svježeg zraka koji se ubacuje u prostoriju [4]

3.3.4. Dovedeni i odvedeni zrak u prostoriji

Samo se prostorije koje se griju/hlade uključuju u sustav ventilacije. Svi kanali za dovod i odvod zraka trebali bi biti položeni unutar prostora koji je izoliran (unutarnji prostori u objektu). Položaj otvora za dovod i odvod zraka mora biti odabran tako da omogućuje strujanje zraka kroz prostor. Otvori za dovod zrak moraju se postaviti tako da se izbjegne direktno puhanje zraka u osobe u prostoru, npr. iznad uzglavlja kreveta, iznad radnih stolova i slično.

Tvrtka Hoval standardno koristi fleksibilne poli-etilenske cijevi DN75 ili plosnate poli-etilenske kanale 100×45 mm kao razvodne kanale za dovod i odvod zraka. Osim ovih cijevi tvrtka Hoval isporučuje kompletan sustav za distribuciju zraka, uključivo rešetke, zračne plenume, razdjelne kutije, prigušivače buke i druge potrebne komponente (Slika 3.12).



Slika 3.12 - Hoval komponente sustava za distribuciju zraka [4]

Preporučeni pad tlaka na jednoj razvodnoj liniji (svježi zrak + dovedeni zrak, ili otpadni zrak + odvedeni zrak) ne bi trebao biti veći od 100 Pa. Preporuka tvrtke Hoval je da pad tlaka u razvodnoj cijevi nakon razdjelne kutije bude oko 40 Pa (strana prema sobama). Količina zraka po pojedinoj razvodnoj cijevi ne bi trebala prelaziti 27-30 m^3/h.

3.3.5. Svježi i otpadni zrak

Otvori za uzimanje svježeg zraka i izbacivanje otpadnog zraka moraju se projektirati tako da se izbjegne mogućnost miješanja ove dvije struje zraka. Otvor za uzimanje svježeg zraka trebao

bi biti minimalno 2 m iznad površine okolnog tla, te se trebaju izbjegavati položaji blizu prostora garaže ili prema jako prometnim ulicama. Otvor otpadnog zraka mora biti postavljen tako da ne dolazi do povrata otpadnog zraka na otvor za dovod svježeg zraka. Minimalna horizontalna udaljenost između ova dva otvora trebala bi biti 2 m, te se mora pratiti najčešći smjer puhanja vjetra. Kanali za dovod i odvod zraka trebaju biti izolirani po cijeloj dužini kanala kako bi se izbjegla pojava kondenzacije na stijenkama kanala.

3.3.6. Prigušivači buke

Da bi se dodatno smanjila buka koju proizvode ventilatori uređaja, moguća je montaža prigušivača buke (Slika 3.13) na kanalima dovedenog i odvedenog zraka u prostoru. Također je moguća instalacija prigušivača buke i na strani svježeg i otpadnog zraka ukoliko se želi smanjiti buka prema susjedima ili prema vanjskim prostorima koji se stalno koriste, kao što su terase , galerije i sl.



Slika 3.13 - Hoval prigušivač buke SD 150/500 [4]

3.3.7. Montaža uređaja HomeVent FR

Hoval rekuperatori/regeneratori HomeVent FR se mogu montirati u različitim položajima ovisno o prostoru za montažu. Tako je moguća montaža na strop, pod i na zid u horizontalnom i vertikalnom položaju. Pristup unutrašnjosti uređaja radi održavanja i servisa je moguć s obaju strana uređaja (prednja i stražnja) što omogućava izuzetnu fleksibilnost kod montaže.

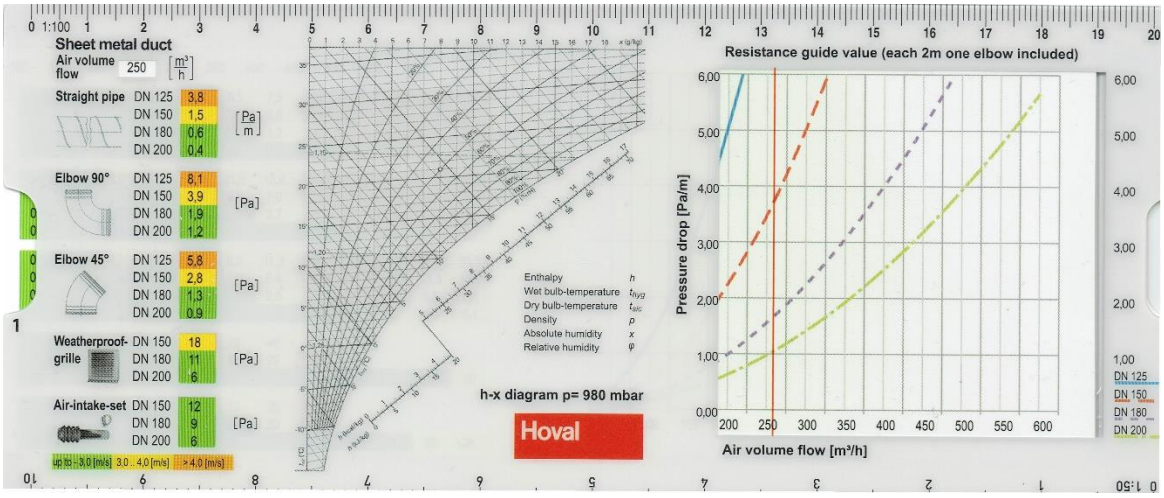
3.4. Dimenzioniranje kanala i rešetki

S obzirom da je predviđena montaža uređaja u uredskom kontejneru, koji će u konačnici kada se nadogradi sa svim predviđenim energetskim sustavima simulirati sustav pasivne kuće, sustav kanala za dovod i odvod zraka iz prostora maksimalno je pojednostavljen. Kako bi se ostvarilo strujanje zraka u prostoru odlučeno je da se dovod i odvod zraka izvede preko samo jedne ventilacijske rešetke za dovod i jedne ventilacijske rešetke za odvod zraka. Također, položaj rešetki predviđen je na dvije suprotne strane uredskog kontejnera. Ventilacijske rešetke biti će montirane na spiro cijevi (Slika 3.14) izrađene od pocinčanog lima. Odabrana je spiro cijev DN 150, koja odgovara priključnim otvorima na uređaju HomeVent FR(250).



Slika 3.14 - Spiro cijev za distribuciju zraka [4]

Karakteristike protoka zraka kroz elemente spiro kanala određene su pomoću „šibera“ tvrtke Hoval za odabir spiro cijevi ovisno o količini zraka i padu tlaka kroz cijevi i cijevne elemente (Slika 3.15).

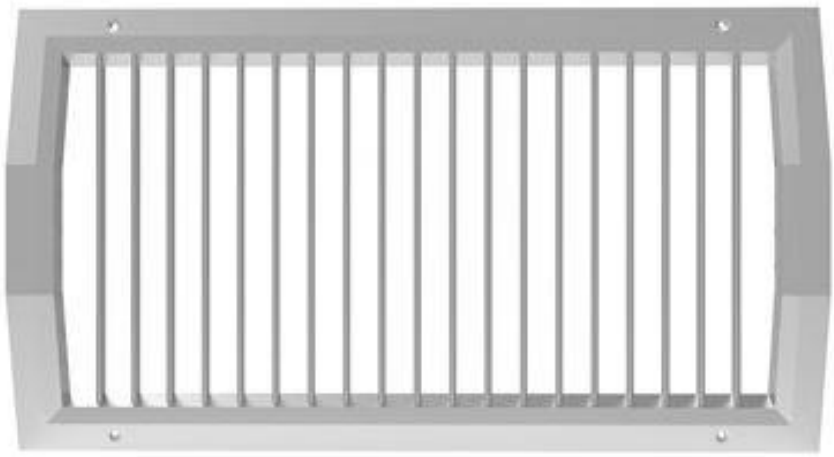


Slika 3.15 - Određivanje pada tlaka kroz spiro cijevi s pomoću šibera Hoval [13]

Odabir rešetke za dovod i odvod zraka iz prostora izvršen je pomoću „on-line“ programa za odabir rešetki „SolveAir“, proizvođača Klimaoprema (Slika 3.16).

Nakon što su u programu unesene vrijednosti količine zraka koji se dovodi i odvodi iz prostora, te udaljenost rešetki od poda uredskog kontejnera, kao i izgled rešetke (raspored krilaca za usmjeravanje zraka, regulirajuće zaklopke i ostalo), program nam je ponudio odabir prikladnih ventilacijskih rešetki kao i vrijednosti buke i pada tlaka za pojedinu rešetku (Slike 3.17 - 3.19).

Na osnovu ponuđenog, odabrana je ventilacijska rešetka model CCV 1 L_635×125 koja se montira direktno na spiro cijev.



Slika 3.16 - Rešetka CCV proizvođača Klimaoprema

Selected: **CCV - 1 - L - 225x75 - RAL**

	Width [mm]	Height [mm]	A_{ef} [m²]	v_{ef} [m/s]	v_L [m/s]	dp [pa]	L_{wa} [dB(A)]
+	525	125	0.0360	1.90	0.35	10	30
+	525	225	0.0730	1.00	0.26	<4	16
+	525	325	0.1090	<1	0.19	<4	10
+	625	75	0.0220	3.20	0.46	29	50
+	625	125	0.0440	1.60	0.32	7	25
+	625	225	0.0870	<1	0.23	<4	13
+	625	325	0.1310	<1	0.17	<4	<10
+	625	425	0.1750	<1	0.16	<4	<10
+	825	75	0.0290	2.40	0.39	16	38
+	825	125	0.0580	1.20	0.28	4	19

Showing 11 to 20 of 35 entries Previous Next

Slika 3.17 - Prikaz izbora mogućih rešetki prema programu „SolveAir“ [16]

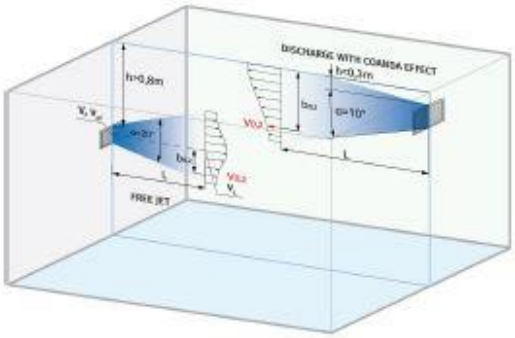
klimaoprema

PRODUCT SELECTION
Position: CCV - 1/625x125
Date: 29.6.2020. 14:28:45

AIR GRILLES / CCV

Input selection

Air volume:	V = 250 m³/h
Throw:	L = 3 m
Distance from the ceiling:	H = 0,3 m
Supply air temp. difference:	Δt_x = 0 ...C
Extract Air:	NO



Technical description



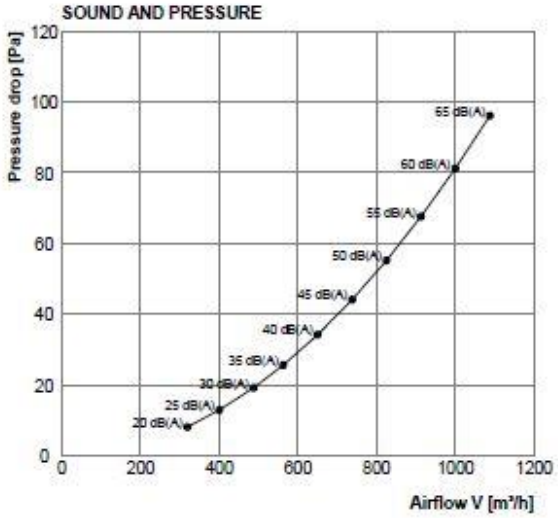
Ventilation grille type CCV-1. Frame and lamellas made of steel sheet. One row of vertically mounted separately adjustable lamellae. For installation on cylindrical channels. Installation with screws. Possibility of plasticization in RAL at customer's request.

Dampers: Without Damper
Material/Finish: Powder Coated RAL
Filter: Without Filter

ORDER CODE:
CCV - 1 - 625x125 - RAL

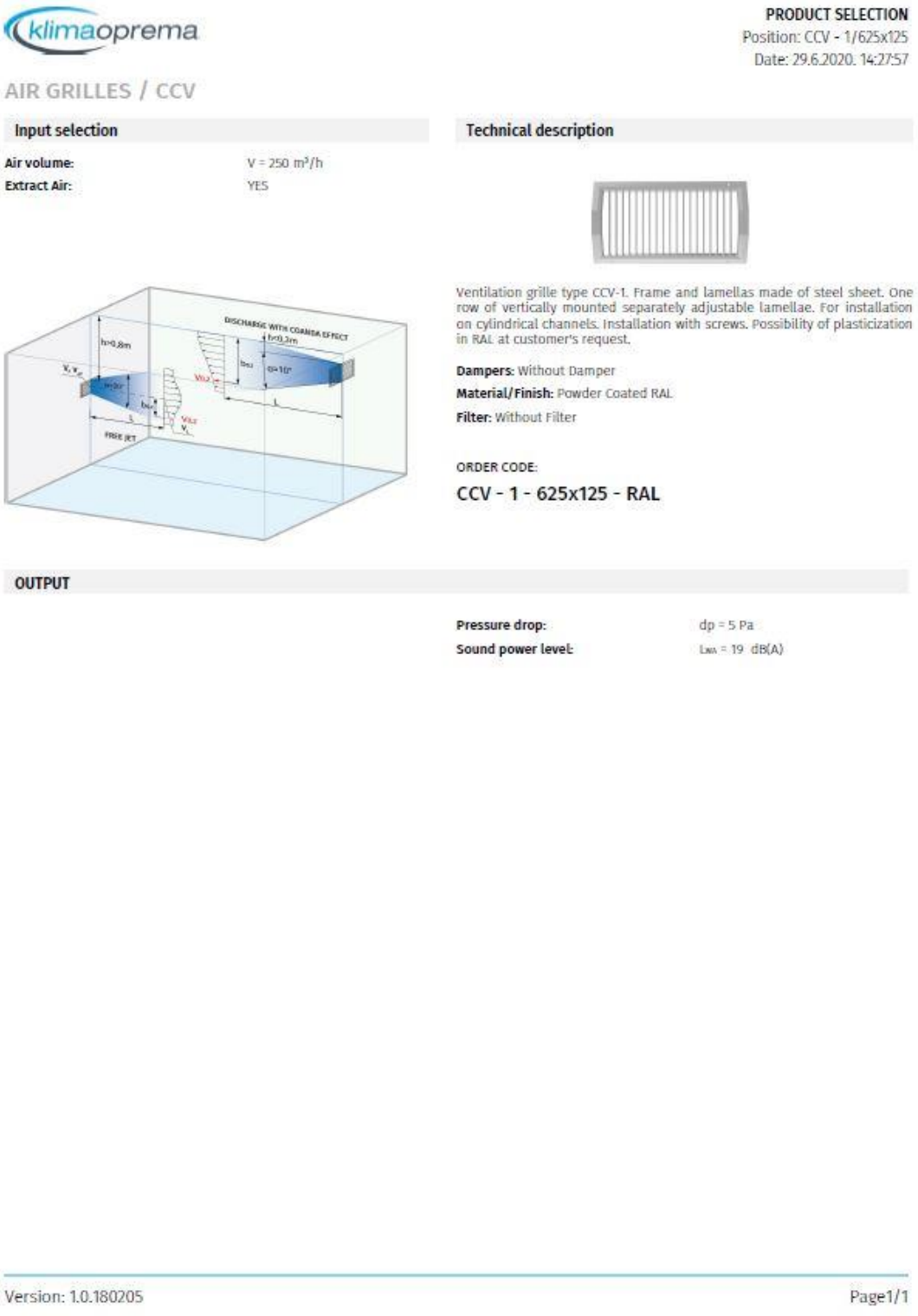
OUTPUT

Effective surface:	A_{ef} = 0,044 m²	**Pressure drop:**	dp = 5 Pa
Effective velocity:	v_{ef} = 1,60 m/s	**Sound power level:**	L_{WA} = 16 dB(A)
Velocity at distance L:	v_L = 0,43 m/s		



Version: 1.0.180205 Page1/1

Slika 3.18 - Odabir rešetke za dovedeni zrak u programu „SolveAir“ [13]


klimaoprema

PRODUCT SELECTION
Position: CCV - 1/625x125
Date: 29.6.2020. 14:27:57

AIR GRILLES / CCV

Input selection

Air volume: V = 250 m³/h
Extract Air: YES

Technical description

Ventilation grille type CCV-1. Frame and lamellas made of steel sheet. One row of vertically mounted separately adjustable lamellae. For installation on cylindrical channels. Installation with screws. Possibility of plasticization in RAL at customer's request.

Dampers: Without Damper
Material/Finish: Powder Coated RAL
Filter: Without Filter

ORDER CODE:
CCV - 1 - 625x125 - RAL

OUTPUT

Pressure drop: dp = 5 Pa
Sound power level: Lwa = 19 dB(A)

Version: 1.0.180205 Page1/1

Slika 3.19 - Odabir rešetke za odvedeni zrak u programu „SolveAir“ [13]

Za dovod svježeg zraka do uređaja i odvod otpadnog zraka iz uređaja predviđena je upotreba višeslojne izolirane fleksibilnu cijev ISOAFS-ALU DN 152 (Slika 3.20). Pad tlaka kroz ove cijevi je približno isti kao i kroz spiro cijevi istog promjera (Slika 3.21).



Slika 3.20 - ISOAFS-ALU fleksibilna cijev [17]

TECHNICIAL SPECIFICATIONS

Temperature Range	-30 °C / +150 °C
Diameter Range	52 mm - 800 mm
Jacket Construction	1 ply Aluminium + 2 ply Polyester
Jacket Nominal Thickness	45 micron
Air Velocity	30 m/s (maximum)
Insulation - Thickness - Density	Glasswool 25 mm - 16 kg/m³
Packing	Single cardboard box
Standard Length	10 m

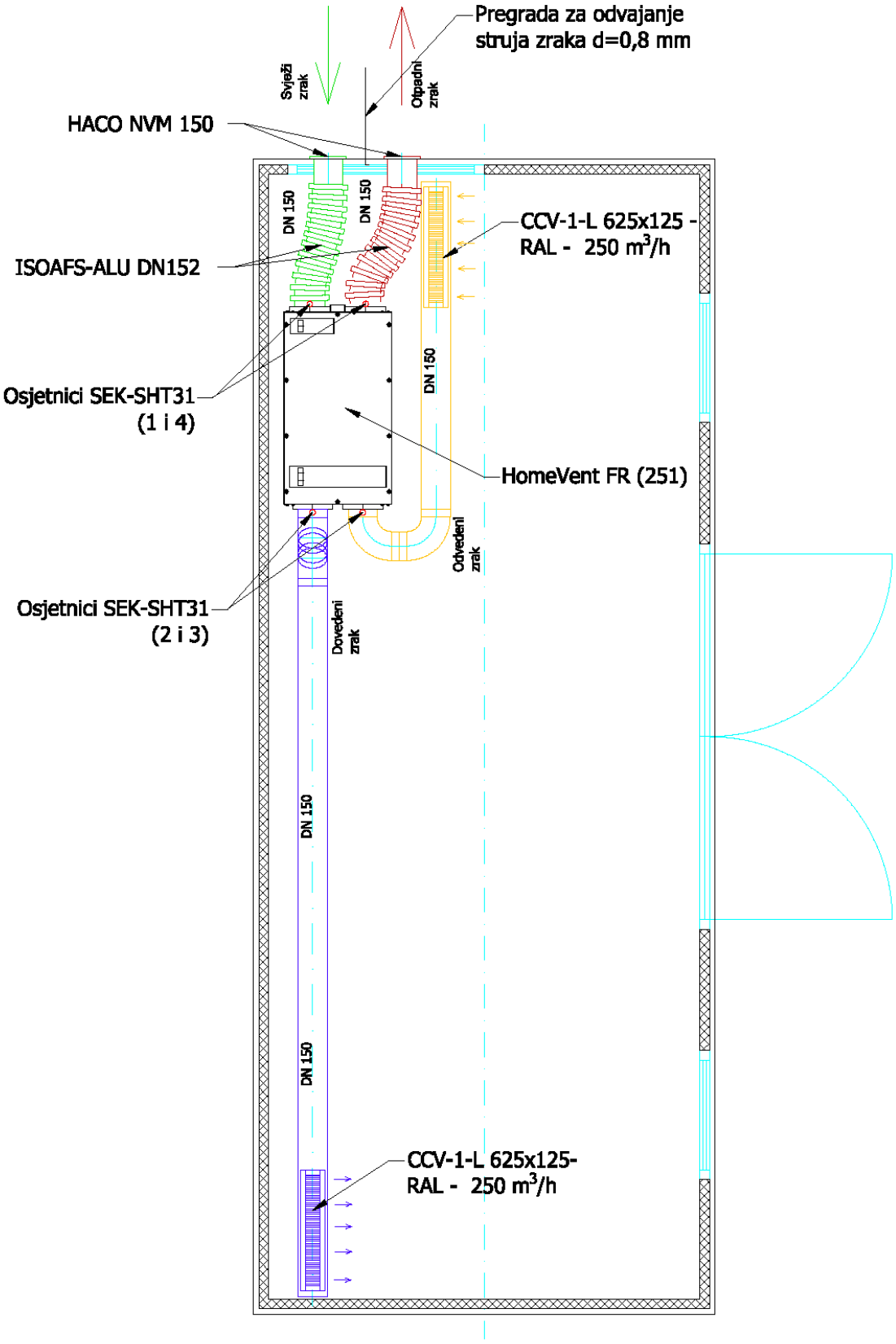
Slika 3.21 - Tehničke karakteristike ISOAFS-ALU fleksibilne cijevi [17]

Za vanjske rešetke za svježi i otpadni zrak odabrane su rešetke proizvođača HACO oznake NVM 150 izrađene od nehrđajućeg čelika (Slika 3.22). Pad tlaka kroz ovu rešetku je 18 Pa za protok zraka od 250 m^3/h.



Slika 3.22 - Vanjska rešetka HACO NVM 150 [19]

Na slijedećoj slici prikazan je tlocrt kontejnera s ucrtanom ventilacijom (Slika 3.23).



Slika 3.23 - Tlocrt kontejnera s ucrtanom ventilacijom [13]

Tablica 3.1 – Izračun pada tlaka na dovodnoj strani regeneratora [13]

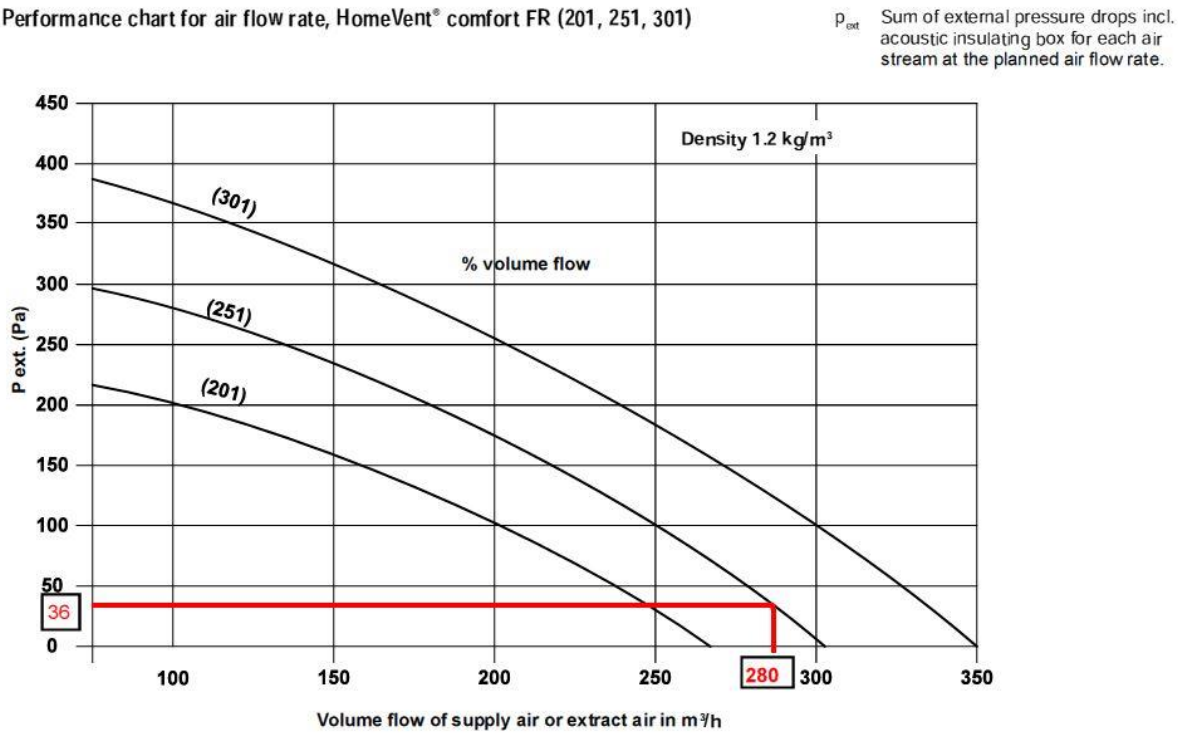
PAD TLAKA U DOVODNOM KANALU				
NAZIV ELEMENTA	DULJINA [m]	BR. KOMADA	JEDINIČNI PAD TLAKA [Pa/m]	UKUPNI PAD TLAKA U SEGMENTU [Pa]
SPIRO CIJEV DN150	4.08		1.50	6.12
KOLJENO DN 150/45°		2	2.80	5.60
ISOAFS-ALU DN152	0.85		1.50	1.28
CCV-1 L 625×125		1	5.00	5.00
HACO NVM 150		1	18.00	18.00
			UKUPNO:	36.00 [Pa]

Tablica 3.2 – Izračun pada tlaka na odvodnoj strani regeneratora [13]

PAD TLAKA U ODVODNOM KANALU				
NAZIV ELEMENTA	DULJINA [m]	BR. KOMADA	JEDINIČNI PAD TLAKA [Pa]	UKUPNI PAD TLAKA U SEGMENTU [Pa]
SPIRO CIJEV DN150	1.74		1.50	2.61
KOLJENO DN 150/90°		2	3.90	7.80
ISOAFS-ALU DN152	0.85		1.50	1.28
CCV-1 L 625×125		1	5.00	5.00
HACO NVM 150		1	18.00	18.00
			UKUPNO:	34.69 [Pa]

Na osnovu definiranih uvjeta koji traže da ukupni pad tlaka u kanalu u smjeru dovoda ili smjeru odvoda zraka mora biti manji od 100 Pa, iz gore prikazanog proračuna pada tlaka (Tablica 3.1 i Tablica 3.2), može se zaključiti da projektirani razvod zračnih kanala zadovoljava definirani uvjet. Na osnovu prikazanih proračuna proizlazi da je i u jednom i u drugom smjeru pad tlaka približno isti, odnosno, istog reda veličine.

Ako se ove vrijednosti unesu u graf proizvođača regeneratora (iz tehničkog kataloga), vrijednost protoka zraka pri brzini rada ventilatora od 100% iznositi će približno 280 m^3/h (Slika 3.24).

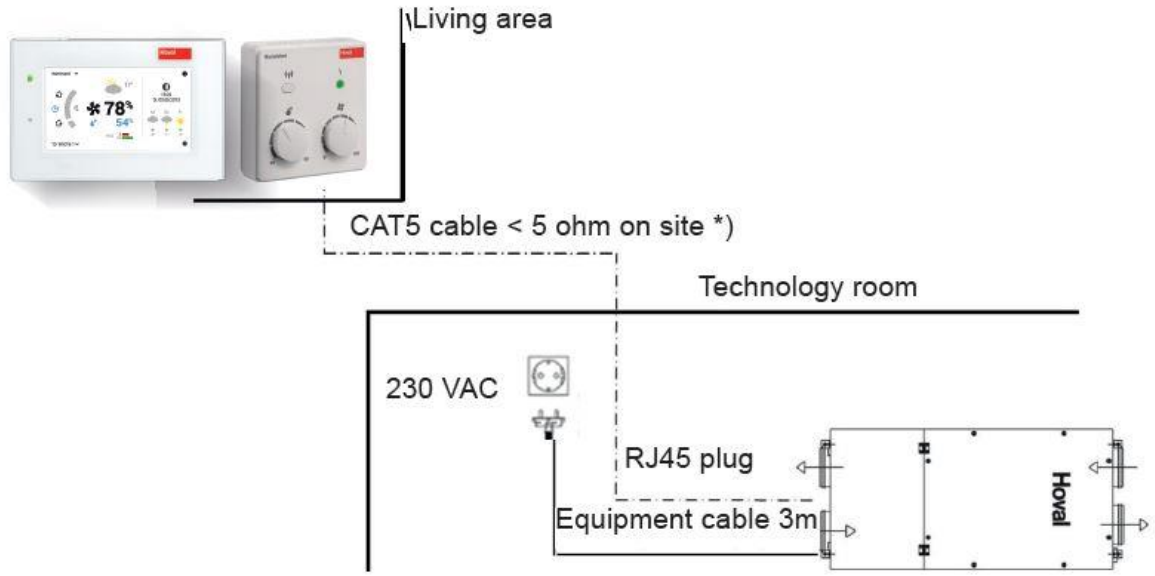


Slika 3.24 - Prikaz karakteristike rada uređaja, protok zraka u ovisnosti o padu tlaka [4]

3.5. Električno spajanje uređaja, izbor i smještaj dodatnih osjetnika za mjerenje temperature i relativne vlage zraka

Zbog svoje male potrošnje električne energije i male snage motora ventilatora kao i pogonskog motora rotora regeneratora, za spoj uređaja na električnu mrežu nisu potrebni nikakvi posebni preduvjeti te se uređaj može spojiti na običnu sobnu utičnicu priloženim kabelom koji se

isporučuje zajedno s uređajem. Upravljač TopTronic-E comfort se na uređaj spaja s UTP mrežnim kabelom minimalne kategorije 5. Uz uređaj se isto tako isporučuje mrežni kabel dužine 3 m. Na Slici 3.25 prikazana je pojednostavljena električna shema spajanja uređaja iz uputa za montažu.



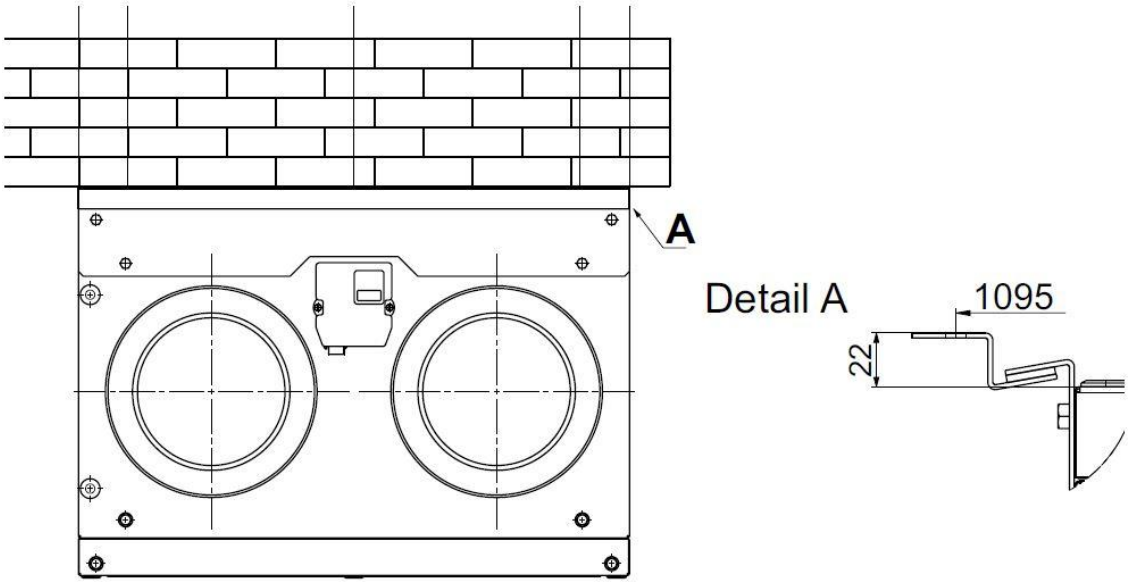
Slika 3.25 - Elektro shema spajanja uređaja [4]

Ovješenje uređaja na strop se izvodi s tvorničkim priborom za vješanje na strop kao što je prikazano na Slici 3.26. Zbog specifičnosti konstrukcije uredskog kontejnera, standardni nosači će biti montirani na pod-konstrukciju od gotovih montažnih šina. Za ovješenje spiro kanal koristiti će se obujmice s gumenim uloškom DN150.

Za precizno mjerenje rada regeneratora, predviđeno je da se na svim priključcima ventilacijskih kanala na uređaj postave kombinirani osjetnici temperature i relativne vlage, kao što je prikazano na Slici 3.23. Odabrani su kombinirani osjetnici proizvođača Sensiron AG, tip SEK-SHT31, te uređaj za spoj osjetnika na računalo tip SEK-SensorBridge istog proizvođača (Slika 3.27).

Pomoću mjernih osjetnika moći će se mjeriti vrijednosti temperature i relativne vlažnosti zraka prije i nakon ulaska u uređaj, te će se moći u dužem vremenskom periodu pratiti rad uređaja pri različitim uvjetima temperature i relativne vlage zraka unutar uredskog kontejnera i okoliša. Ova mjerenja će se moći obavljati i pri različitim brzinama rada ventilatora uređaja.

Na osnovu ovih podataka biti će izračunate vrijednosti efikasnosti povrata topline i relativne vlage u stvarnim uvjetima rada i usporediti s raspoloživim tehničkim podacima za uređaj.



Slika 3.26 - Montaža uređaja na strop [4]



Slika 3.27 - Kombinirani osjetnici temperature i vlage spojeni na uređaj za povezivanje s računalom [18]

4. Izvedba sustava regeneracije toplinske energije

Nakon nabave sve opreme koja je prikazana u poglavlju 3, pristupilo se montaži sustava u uredskom kontejneru. Postupak montaže prikazan je u nastavku, i to redoslijedom izvedbe sustava regeneracije toplinske energije.

4.1. Postavljanje uređaja i kanala

Na početku je izvršeno planiranje mjesta postavljanja uređaja (Slika 4.1), te mjerenje i postavljanje pomoćnih montažnih profila za vješanje uređaja na strop uredskog kontejnera. Pri tome su korišteni samourezni vijci dimenzija 6 × 70 mm (Slika 4.2).



Slika 4.1 - Strop kontejnera prije montaže [13]



Slika 4.2 - Montaža pomoćnih profila [13]

Nakon toga su postavljeni originalni tvornički nosači uređaja, te je na njih konačno ovješen sam uređaj za regeneraciju toplinske energije (Slika 4.3).



Slika 4.3 - Uređaj postavljen na strop [13]

Slijedeća faza montaže uključila je pripremu spiro kanala za montažu na strop. Najprije su kanali izrezani na odgovarajuće dužine, te se pristupilo izrezivanju otvora na kojima će biti postavljena ventilacijska rešetka (model CCV 1 L_635×125), kao što je prikazano na Slici 4.4.

Na okvir rešetke se prije pričvršćivanja na kanal postavila samoljepiva traka za izolaciju. Namjena trake je sprječavanje eventualnog istjecanje zraka izvan otvora rešetke.

Zatim su montirane obujmice za prihvat ventilacijskih kanala na strop (Slika 4.5), te je izvršeno spajanje koljena i spojnice kanala. Svi spojevi kanala izvedeni su pomoću samoureznih vijaka te su svi spojevi zabrtvljeni silikonskim kitom.

Na završetke kanala postavljeni su poklopci koji su također zabrtvljeni pomoću silikonskog kita. Gotovi kanali su zatim postavljeni na mjesto predviđeno prema nacrtnoj dokumentaciji (Slike 4.6, 4.7 i 4.8).



Slika 4.4 - Postavljanje rešetki na spiro kanal [13]



Slika 4.5 - Postavljanje nosača kanala [13]



Slika 4.6 - Postavljen odvodni kanal [13]



Slika 4.7 - Postavljen dovodni kanal [13]



Slika 4.8 - Postavljen dovodni kanal [13]

Nakon postavljanja ventilacijskih kanala iz spiro cijevi, izvršeno je mjerenju i ocrtavanje mjesta na kojem će se izvesti proboj kanala za dovod svježeg zraka i odvod otpadnog zraka iz uredskog kontejnera (Slika 4.9). Otvori su izrezani pomoću ubodne pile i na njih su montirani ventilacijski spojni komadi (Slika 4.10), na koje će se kasnije spojiti fleksibilne izolirane cijevi ISOAFS-ALU DN152.



Slika 4.9 - Ocrtavanje otvora [13]



Slika 4.10 - Izrezani otvori sa spojnicama [13]

Na izrađene otvore s vanjske strane uredskog kontejnera postavljene su protu-kišne rešetke izrađene od nehrđajućeg čelika HACO NVM 150 (Slike 4.11 i 4.12).



Slika 4.11 - Protu-kišne rešetke NVM 150 iznutra [13]



Slika 4.12 - Protu-kišne rešetke NVM 150 izvana [13]

Kako bi se uređaj spojio na otvore svježeg i otpadnog zraka, izrezane su fleksibilne cijevi (Slika 4.13) na odgovarajuću dužinu, te su montirane na predviđeno mjesto (Slika 4.14). Cijevi su na spojnice pričvršćene čeličnim obujmicama. Ovim je završena montaža uređaja i kanala.



Slika 4.13 - Rezanje fleksibilne cijevi [13]



Slika 4.14 - Postavljene fleksibilne cijevi [13]

4.2. Postavljanje osjetnika i spajanje uređaja na električno napajanje

Nakon završetka montaže kanala i uređaja, pristupilo se izradi otvora na kanalima koji će služiti za montažu mjernih osjetnika relativne vlage i temperature (Slika 4.15). Na ove otvore su montirane čahure u koje su postavljeni mjerni osjetnici (Slike 4.16 i 4.17).



Slika 4.15 - Izbušeni otvori za osjetnike [13]



Slika 4.16 - Postavljeni osjetnici na kanalima dovoda i odvoda zraka [13]



Slika 4.17 - Postavljeni osjetnici na kanale svježeg i otpadnog zraka [13]

Nakon postavljanja mjernih osjetnika izvedeno je spajanje upravljača na uređaj, te montaža nove nad-zidne utičnice za napajanje uređaja električnom energijom (Slike 4.18, 4.19 i 4.20), te spajanje uređaja na električno napajanje. Time je u potpunosti završena montaža sustava.



Slika 4.18 - Ocrtavanje položaja električne utičnice za montažu [13]



Slika 4.19 - Postavljena utičnica i uređaj spojen na napajanje [13]



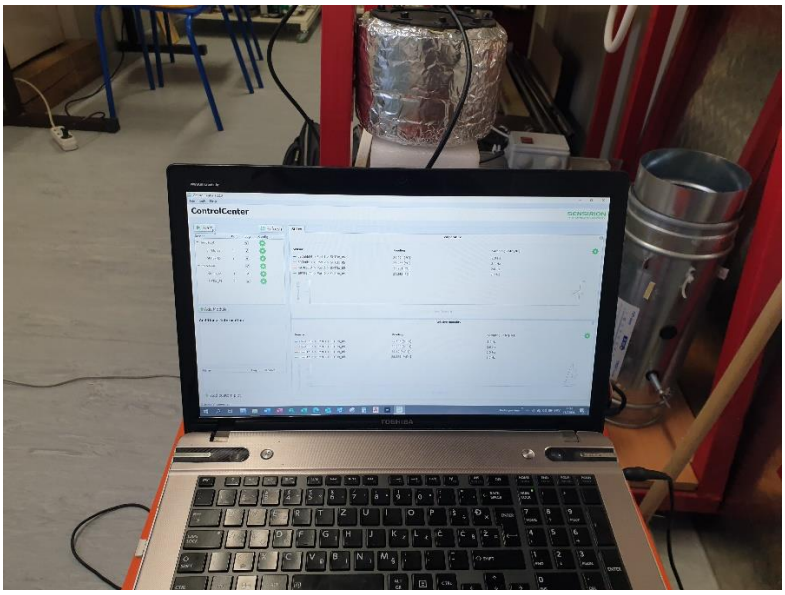
Slika 4.20 - Postavljen upravljač uređaja [13]

5. Mjerenje radnih parametara

Nakon montaže sustava ventilacije izvršena su probna mjerenja radnih parametara. Za ova mjerenja korišteni su mjerni osjetnici montirani na spojne kanale uređaja za regeneraciju toplinske energije. Osjetnici se putem SEK-SensorBridge uređaja (Slika 5.1) spajaju s računalom, na kojem se upotrebom računalnog programom Sensiron ControlCenter 1.23.0 (Slika 5.2) vrši očitavanje i zapisivanje izmjerenih vrijednosti u realnom vremenu. Mjerenja su izvršena u dva niza od 15-16 minuta, pri čemu je napravljena pauza od 10 minuta između dvaju mjerenja. Pri tome rad uređaja nije prekidan. Ukupno su izvršena četiri probna mjerenja kako bi se dobili reprezentativniji rezultati mjerenja.

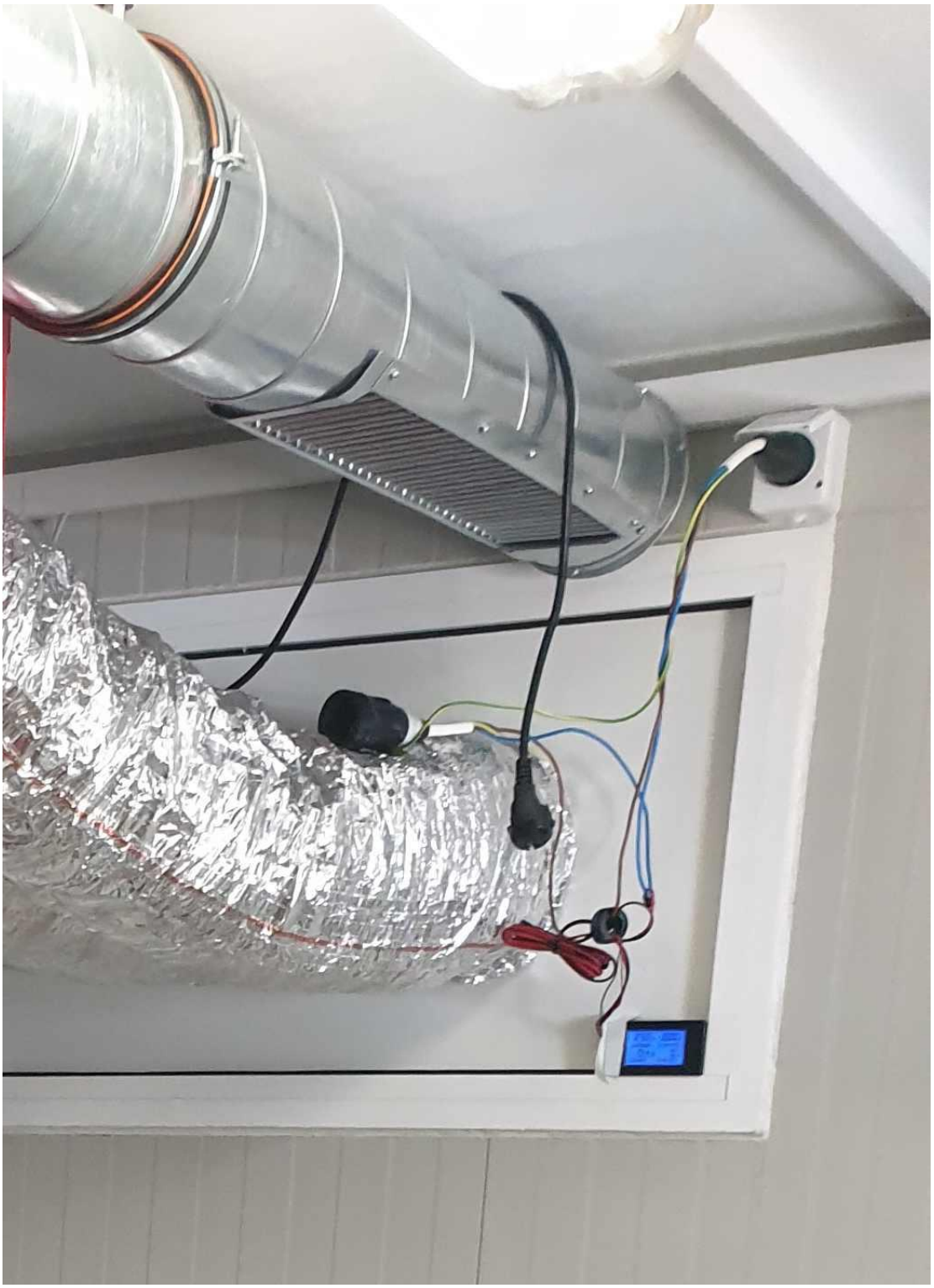


Slika 5.1 - SEK – SensorBridge spojen na osjetnike [13]



Slika 5.2 - Računalo s pokrenutim programom Sensiron ControlCenter [13]

Za precizno očitanje potrošnje električne energije na utičnicu je prije spajanja uređaja priključeno digitalno brojilo potrošnje električne energije (Slika 5.3), s prikazom trenutnih vrijednosti napona, struje i snage (slika 5.4). Korišteno brojilo potrošnje električne energije je AC Digitalni multimetar s ekranom, model PZEM-061.



Slika 5.3 - Postavljeno digitalno mjerilo potrošnje el. energije [13]



Slika 5.4 - Početno stanje digitalnog mjerila potrošnje el. energije [13]

5.1. Prvo mjerenje

Na digitalnom mjerilu potrošnje električne energije postavljeno je početno stanje potrošnje od 0 Wh (Slika 5.4). Odabrano je da se probno mjerenje radnih parametara izvede s brzinom rada ventilatora od 70%, što daje volumni protok zraka od 196 m^3/h. Za željenu vrijednost relativne vlažnosti zraka u uredskom kontejneru odabrana je vrijednost od 50 %. Ove postavke su odabrane kako bi se dobiveni podaci mogli usporediti s podacima iz tehničkog kataloga uređaja koji su dani od strane proizvođača. Prvo mjerenje je izvedeno 13. srpnja 2020. s početkom u 11 h i 24 min, a završilo u 11 h i 39 min. S obzirom da je period očitanja osjetnika iznosio oko 2 Hz, u navedenom periodu mjerenja očitano je 1800 izmjerenih vremenskih točaka. Kako bi se olakšao prikaz izmjerenih vrijednosti odabrani su periodi od četiri mjerenja na početku perioda, na sredini i na kraju mjerenje. Na Slici 5.5 prikazane su odabrane vremenske točke. Odabrane točke prikazane su u Mollierovom dijagramu, i to tri vremenske točke, na početku (Slika 5.7), u sredini (Slika 5.8) i kraju mjerenja (Slika 5.9). Također su u posebnoj tablici prikazane sve vrijednosti koje program očitava za izmjerene parametre zraka. Za prikaz Mollierovog dijagrama vlažnog zraka korišten je program tvrtke DAIKIN – Preglednik za psihometrički dijagram verzija 3.5.0.

		Signal=Temperature,Measurement_Frequency=2.0Hz,Product=SHT3x_85,Port=2,Type=float,Device=69781d04,Unit=Â°C,Device_Serial_Number=EKS2-5F00410014513631323639 37,Sensor_Serial_Number=75221860	Signal=Relative_Humidity,Measurement_Frequency=2.0Hz,Product=SHT3x_85,Port=2,Type=float,Device=69781d04,Unit=%RH,Device_Serial_Number=EKS2-5F00410014513631323639 37,Sensor_Serial_Number=75221860	Signal=Temperature,Measurement_Frequency=2.0Hz,Product=SHT3x_85,Port=1,Type=float,Device=69781d04,Unit=Â°C,Device_Serial_Number=EKS2-5F00410014513631323639 37,Sensor_Serial_Number=75222317	Signal=Relative_Humidity,Measurement_Frequency=2.0Hz,Product=SHT3x_85,Port=1,Type=float,Device=69781d04,Unit=%RH,Device_Serial_Number=EKS2-5F00410014513631323639 37,Sensor_Serial_Number=75222317			Signal=Temperature,Measurement_Frequency=2.0Hz,Product=SHT3x_85,Port=1,Type=float,Device=697e6b04,Unit=Â°C,Device_Serial_Number=EKS2-3A004C0017513631323639 37,Sensor_Serial_Number=75221950	Signal=Relative_Humidity,Measurement_Frequency=2.0Hz,Product=SHT3x_85,Port=1,Type=float,Device=697e6b04,Unit=%RH,Device_Serial_Number=EKS2-3A004C0017513631323639 37,Sensor_Serial_Number=75221950	Signal=Temperature,Measurement_Frequency=2.0Hz,Product=SHT3x_85,Port=2,Type=float,Device=697e6b04,Unit=Â°C,Device_Serial_Number=EKS2-3A004C0017513631323639 37,Sensor_Serial_Number=75228773	Signal=Relative_Humidity,Measurement_Frequency=2.0Hz,Product=SHT3x_85,Port=2,Type=float,Device=697e6b04,Unit=%RH,Device_Serial_Number=EKS2-3A004C0017513631323639 37,Sensor_Serial_Number=75228773
Epoch_UTC	Local_Date_Time	T_SHT3x_85_7522186 0	RH_SHT3x_85_752218 60	T_SHT3x_85_7522231 7	RH_SHT3x_85_752223 17	Epoch_UTC	Local_Date_Time	T_SHT3x_85_7522195 0	RH_SHT3x_85_752219 50	T_SHT3x_85_7522877 3	RH_SHT3x_85_752287 73
1594632261	2020-07-13T11:24:21.400000+02:00	27.482	28.781	26.062	30.324	1594632261	2020-07-13T11:24:21.400000+02:00	23.480	39.375	27.934	27.383
1594632262	2020-07-13T11:24:21.900000+02:00	27.482	28.766	26.048	30.324	1594632262	2020-07-13T11:24:21.900000+02:00	23.522	39.355	27.918	27.399
1594632262	2020-07-13T11:24:22.400000+02:00	27.469	28.749	26.022	30.379	1594632262	2020-07-13T11:24:22.400000+02:00	23.522	39.355	27.934	27.429
1594632263	2020-07-13T11:24:22.900000+02:00	27.456	28.734	26.006	30.396	1594632263	2020-07-13T11:24:22.900000+02:00	23.549	39.330	27.918	27.457
1594632686	2020-07-13T11:31:25.500000+02:00	25.650	34.836	25.629	33.037	1594632685	2020-07-13T11:31:25.300000+02:00	23.397	40.071	24.676	36.324
1594632686	2020-07-13T11:31:26+02:00	25.637	34.833	25.586	33.061	1594632686	2020-07-13T11:31:25.800000+02:00	23.410	40.099	24.676	36.337
1594632687	2020-07-13T11:31:26.500000+02:00	25.637	34.863	25.530	33.028	1594632686	2020-07-13T11:31:26.300000+02:00	23.423	40.140	24.676	36.337
1594632687	2020-07-13T11:31:27+02:00	25.637	34.822	25.498	33.025	1594632687	2020-07-13T11:31:26.800000+02:00	23.437	40.129	24.692	36.314
1594633179	2020-07-13T11:39:39.100000+02:00	25.229	33.371	26.091	28.424	1594633179	2020-07-13T11:39:39+02:00	23.285	38.918	24.395	35.826
1594633180	2020-07-13T11:39:39.600000+02:00	25.242	33.418	26.062	28.552	1594633180	2020-07-13T11:39:39.500000+02:00	23.285	38.879	24.395	35.802
1594633180	2020-07-13T11:39:40.100000+02:00	25.199	33.398	26.062	28.639	1594633180	2020-07-13T11:39:40+02:00	23.311	38.853	24.395	35.838
1594633181	2020-07-13T11:39:40.600000+02:00	25.186	33.455	26.062	28.685	1594633181	2020-07-13T11:39:40.500000+02:00	23.311	38.867	24.353	35.771

Slika 5.5 - Dobiveni rezultati prvog mjerenja (zeleno – svježi zrak, crveno – otpadni zrak) [13]

Tijekom mjerenja u periodu od 15 minuta potrošeno je 13 Wh električne energije (Slika 5.6). Na osnovu toga može se procijeniti potrošnja energije od oko 52 Wh za vrijeme jednosatnog rada uređaja.



Slika 5.6 - Prikaz potrošnje el. energije nakon prvog probnog mjerenja [13]

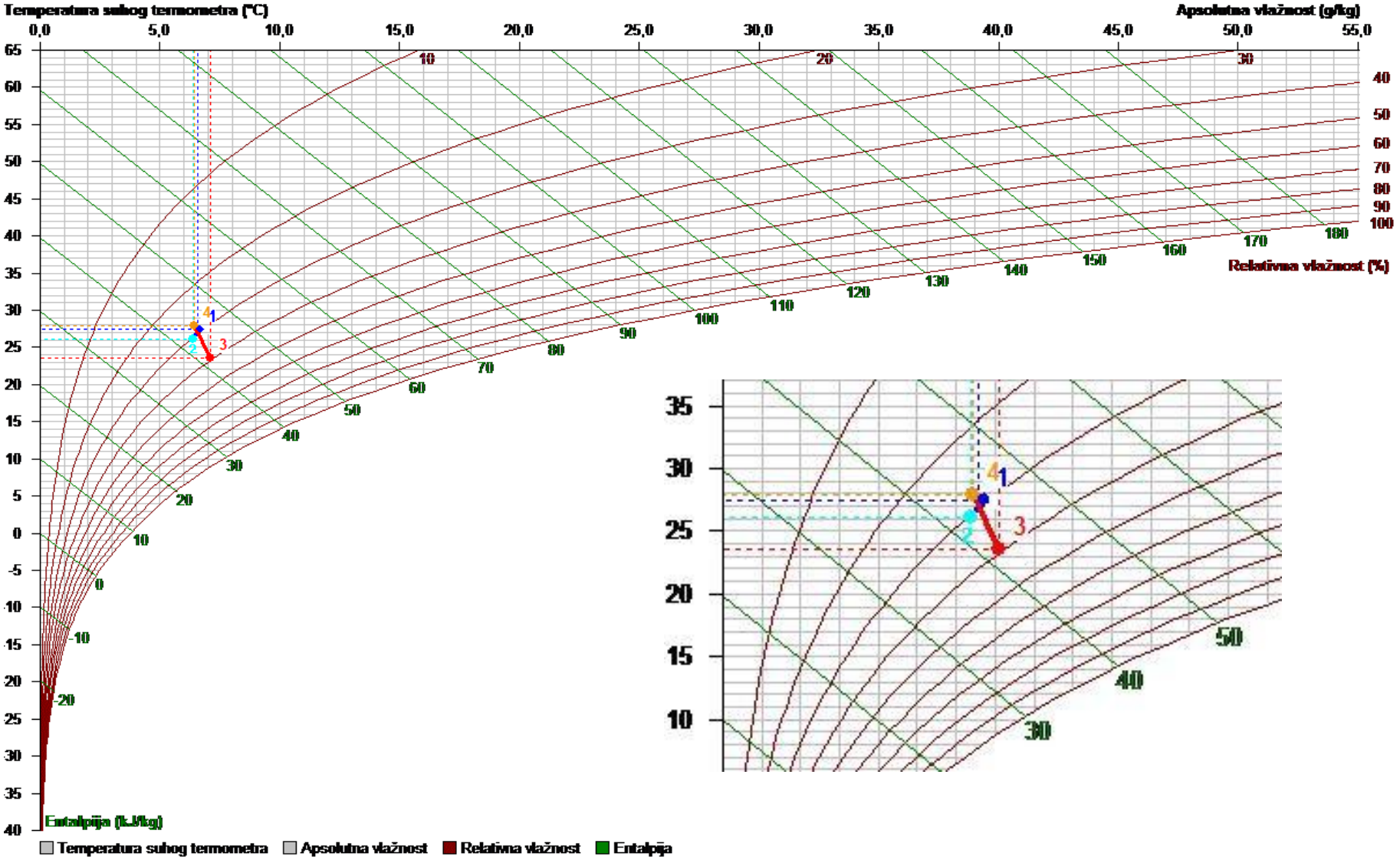
U nastavku su prikazani Mollierovi dijagrami vlažnog zraka u kojima su unesene odabrane vrijednosti za početak, sredinu i kraj mjerenja.

1,1',1" – temperatura i relativna vlažnost zraka na ulazu svježeg zraka u regenerator zraka (iz okoliša)

2,2',2" - temperatura i relativna vlažnost zraka na izlazu dovedenog zraka iz regeneratora zraka (prema prostoru)

3,3',3" - temperatura i relativna vlažnost zraka na ulazu odvedenog zraka u regenerator zraka (iz prostora)

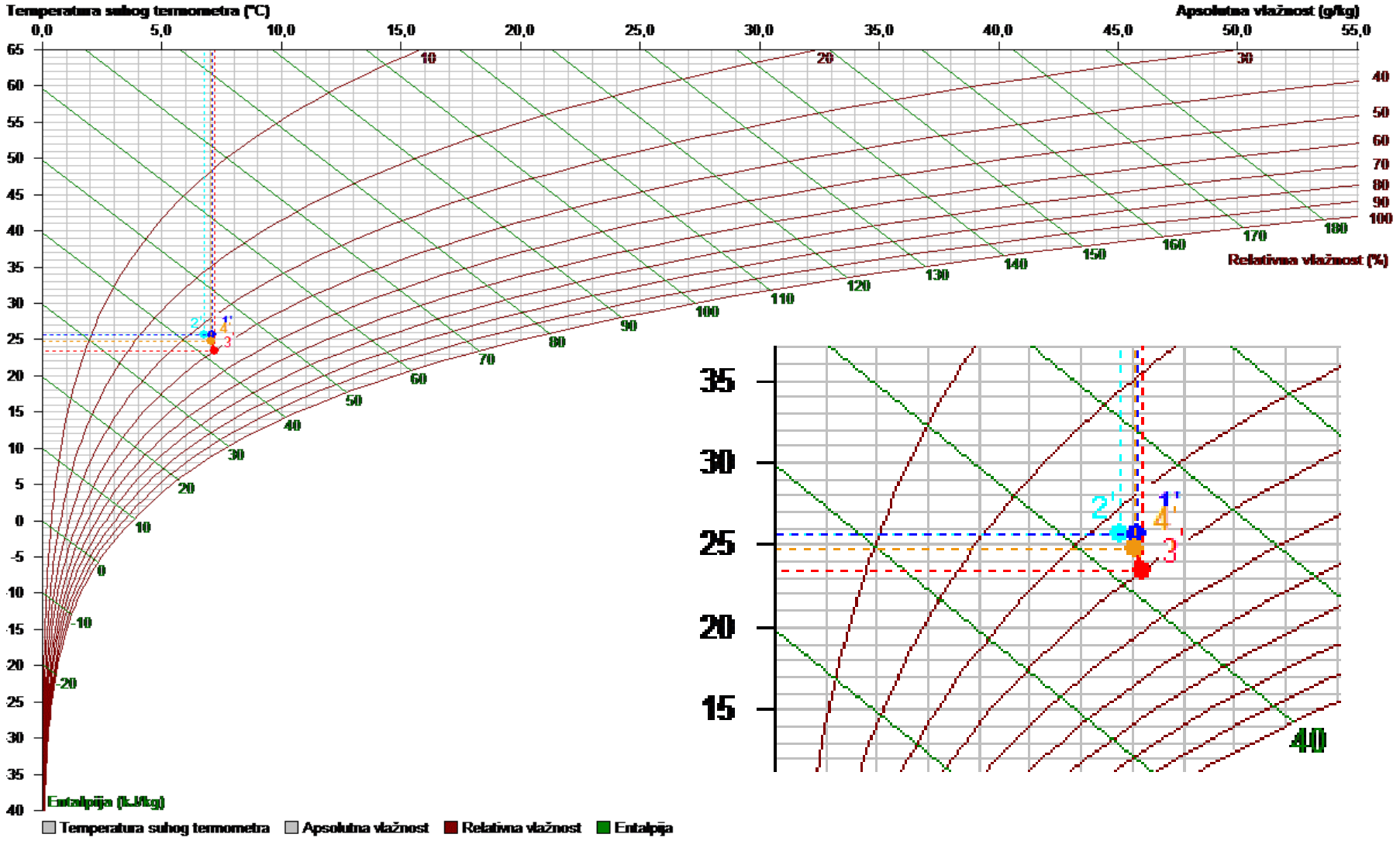
4,4',4" - temperatura i relativna vlažnost zraka na izlazu otpadnog zraka iz regeneratora zraka (prema okolišu)



Slika 5.7 - Prikaz prve točke prvog mjerenja u Mollierovom dijagram [13]

Tablica 5.1 – Prikaz karakterističnih vrijednosti izmjerenih parametara za prvu točku [13]

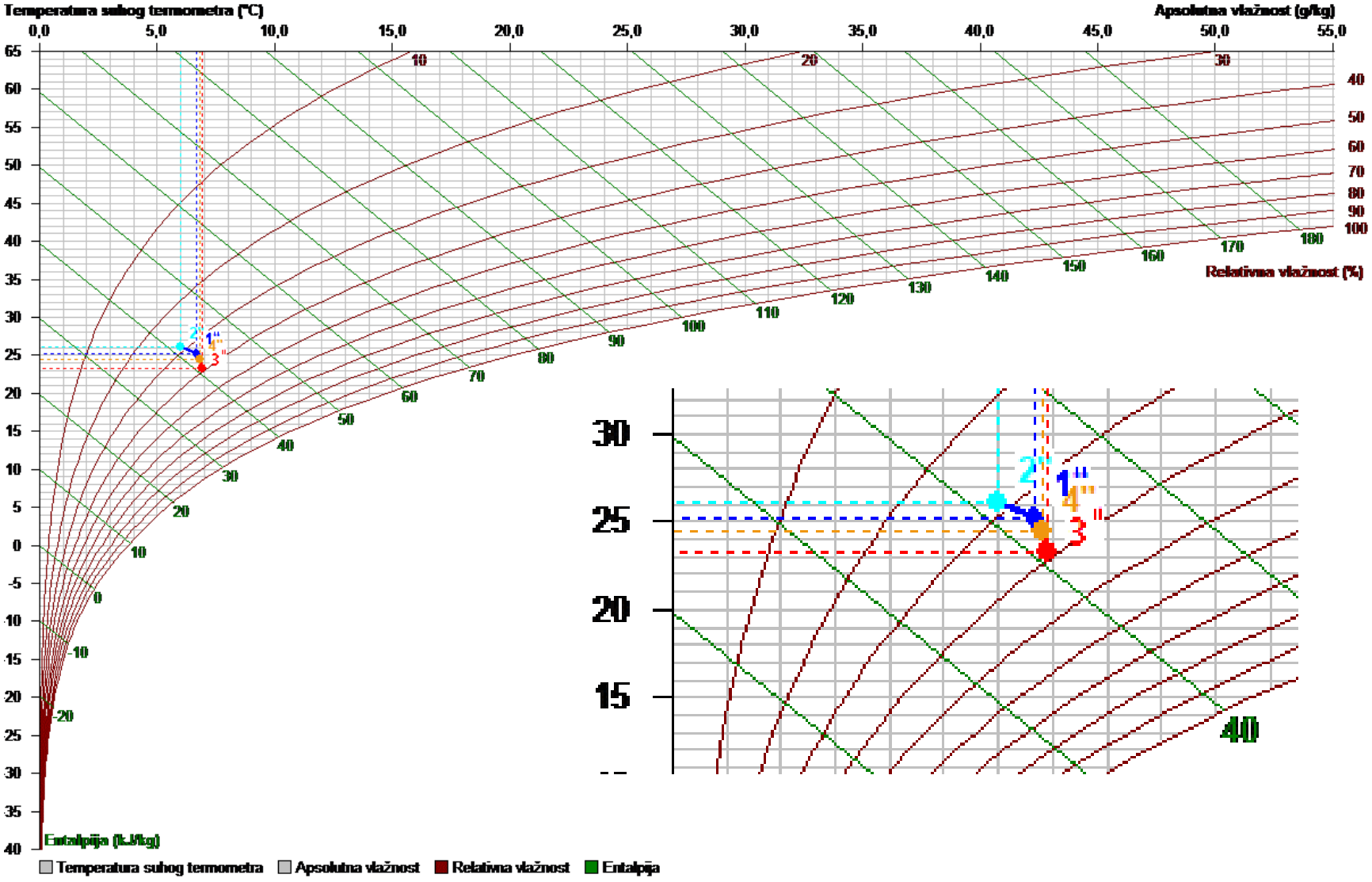
1		2		3		4	
Temperatura suhog termometra	27,5°C	Temperatura suhog termometra	26,1°C	Temperatura suhog termometra	23,5°C	Temperatura suhog termometra	27,9°C
Temperatura vlažnog termometra	16,2°C	Temperatura vlažnog termometra	15,5°C	Temperatura vlažnog termometra	15,2°C	Temperatura vlažnog termometra	16,2°C
Temperatura kondenzacije	7,8°C	Temperatura kondenzacije	7,4°C	Temperatura kondenzacije	9,0°C	Temperatura kondenzacije	7,4°C
Relativna vlažnost	28,8%	Relativna vlažnost	30,3%	Relativna vlažnost	39,4%	Relativna vlažnost	27,4%
Apsolutna vlažnost	6,2g/kg	Apsolutna vlažnost	6,0g/kg	Apsolutna vlažnost	6,7g/kg	Apsolutna vlažnost	6,0g/kg
Entalpija	43,4kJ/kg	Entalpija	41,5kJ/kg	Entalpija	40,6kJ/kg	Entalpija	43,4kJ/kg
Gustoća	1,241kg/m³	Gustoća	1,247kg/m³	Gustoća	1,257kg/m³	Gustoća	1,239kg/m³
Specifični volumen	0,811m³/kg	Specifični volumen	0,807m³/kg	Specifični volumen	0,801m³/kg	Specifični volumen	0,812m³/kg
Tlak	107477,5Pa	Tlak	107477,5Pa	Tlak	107477,5Pa	Tlak	107477,5Pa
Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h



Slika 5.8 - Prikaz druge točke prvog mjerenja u Mollierovom dijagram [13]

Tablica 5.2 – Prikaz karakterističnih vrijednosti izmjerenih parametara za drugu točku [13]

1'		2'		3'		4'	
Temperatura suhog termometra	25,6°C	Temperatura suhog termometra	25,6°C	Temperatura suhog termometra	23,4°C	Temperatura suhog termometra	24,7°C
Temperatura vlažnog termometra	15,7°C	Temperatura vlažnog termometra	15,4°C	Temperatura vlažnog termometra	15,0°C	Temperatura vlažnog termometra	15,3°C
Temperatura kondenzacije	9,0°C	Temperatura kondenzacije	8,2°C	Temperatura kondenzacije	9,1°C	Temperatura kondenzacije	8,8°C
Relativna vlažnost	34,8%	Relativna vlažnost	33,1%	Relativna vlažnost	40,1%	Relativna vlažnost	36,3%
Apsolutna vlažnost	7,1g/kg	Apsolutna vlažnost	6,8g/kg	Apsolutna vlažnost	7,2g/kg	Apsolutna vlažnost	7,0g/kg
Entalpija	43,9kJ/kg	Entalpija	43,0kJ/kg	Entalpija	41,8kJ/kg	Entalpija	42,8kJ/kg
Gustoća	1,173kg/m³	Gustoća	1,173kg/m³	Gustoća	1,181kg/m³	Gustoća	1,176kg/m³
Specifični volumen	0,859m³/kg	Specifični volumen	0,858m³/kg	Specifični volumen	0,852m³/kg	Specifični volumen	0,856m³/kg
Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa
Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h



Slika 5.9 - Prikaz treće točke prvog mjerenja u Mollierovom dijagram [13]

Tablica 5.3 – Prikaz karakterističnih vrijednosti izmjerenih parametara za treću točku [13]

1"		2"		3"		4"	
Temperatura suhog termometra	25,2°C	Temperatura suhog termometra	26,1°C	Temperatura suhog termometra	23,3°C	Temperatura suhog termometra	24,4°C
Temperatura vlažnog termometra	15,2°C	Temperatura vlažnog termometra	14,9°C	Temperatura vlažnog termometra	14,7°C	Temperatura vlažnog termometra	15,0°C
Temperatura kondenzacije	8,0°C	Temperatura kondenzacije	6,4°C	Temperatura kondenzacije	8,6°C	Temperatura kondenzacije	8,3°C
Relativna vlažnost	33,4%	Relativna vlažnost	28,4%	Relativna vlažnost	38,9%	Relativna vlažnost	35,8%
Apsolutna vlažnost	6,7g/kg	Apsolutna vlažnost	6,0g/kg	Apsolutna vlažnost	6,9g/kg	Apsolutna vlažnost	6,8g/kg
Entalpija	42,3kJ/kg	Entalpija	41,5kJ/kg	Entalpija	41,1kJ/kg	Entalpija	41,9kJ/kg
Gustoća	1,175kg/m³	Gustoća	1,172kg/m³	Gustoća	1,182kg/m³	Gustoća	1,178kg/m³
Specifični volumen	0,857m³/kg	Specifični volumen	0,859m³/kg	Specifični volumen	0,852m³/kg	Specifični volumen	0,855m³/kg
Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa
Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h

U gore prikazanim rezultatima mjerenja, može se uočiti da u sve tri vremenske točke koje su prikazane u dijagramima rekuperator obavlja svoju funkciju povrata topline (u ovom slučaju povrat topline u vanjski prostor/okoliš), te nastoji održati vlažnost zraka u prostoru što bliže zadanom parametru od 50 % relativne vlažnosti. Ovo je najuočljivije u prikazu prve točke mjerenja gdje je i razlika vanjske i unutarnje temperature bila najveća. Zbog nepovoljnih vremenskih uvjeta (mala razlika između temperature unutar uredskog kontejnera i temperature vanjskog zraka) vrijednosti povrata topline su jako malih vrijednosti.

Koeficijenti povrata topline na strani svježeg vanjskog zraka i za sve tri mjerne točke iznose:

$\eta_t = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{\vartheta_3 - \vartheta_1}$ na strani svježeg vanjskog zraka

$\eta_t = \frac{26.06 - 27.48}{23.48 - 27.48} = 0{,}35$ - za prvu točku

$\eta_t = \frac{25.53 - 25.63}{23.42 - 25.63} = 0{,}045$ - za drugu točku

$\eta_t = \frac{25.19 - 26.06}{23.31 - 26.06} = 0{,}316$ - za treću točku

Koeficijenti povrata topline na strani otpadnog zraka i za sve tri mjerne točke iznose:

$\eta_t = \frac{\vartheta_3 - \vartheta_4}{\vartheta_3 - \vartheta_1}$ - na strani otpadnog zraka

$\eta_t = \frac{23.48 - 27.93}{23.48 - 27.5} = 1{,}107$ - za prvu točku

$\eta_t = \frac{23.42 - 24.68}{23.42 - 25.63} = 0{,}57$ - za drugu točku

$\eta_t = \frac{23.31 - 24.35}{23.31 - 26.06} = 0{,}38$ - za treću točku

Koeficijenti povrata vlage na strani svježeg vanjskog zraka i za sve tri mjerne točke iznose:

$\psi_2 = \frac{x_2 - x_1}{x_3 - x_1}$ - na strani svježeg vanjskog zraka

$\psi_2 = \frac{6.0-6.2}{6.7-6.2}$ = -0,4 - za prvu točku mjerenja

$\psi_2 = \frac{6.8-7.1}{7.2-7.1}$ = -3 - za drugu točku mjerenja

$\psi_2 = \frac{6.0-6.7}{6.9-6.7}$ = -3,5 - za treću točku mjerenja

Koeficijenti povrata vlage na strani otpadnog zraka i za sve tri mjerne točke iznose:

$\psi_1 = \frac{x_3-x_4}{x_3-x_1}$ - na strani otpadnog zraka

$\psi_1 = \frac{6.7-6.0}{6.7-6.2} = 1,4$ - za prvu točku

$\psi_1 = \frac{7.2-7.0}{7.2-7.1} = 2$ - za drugu točku

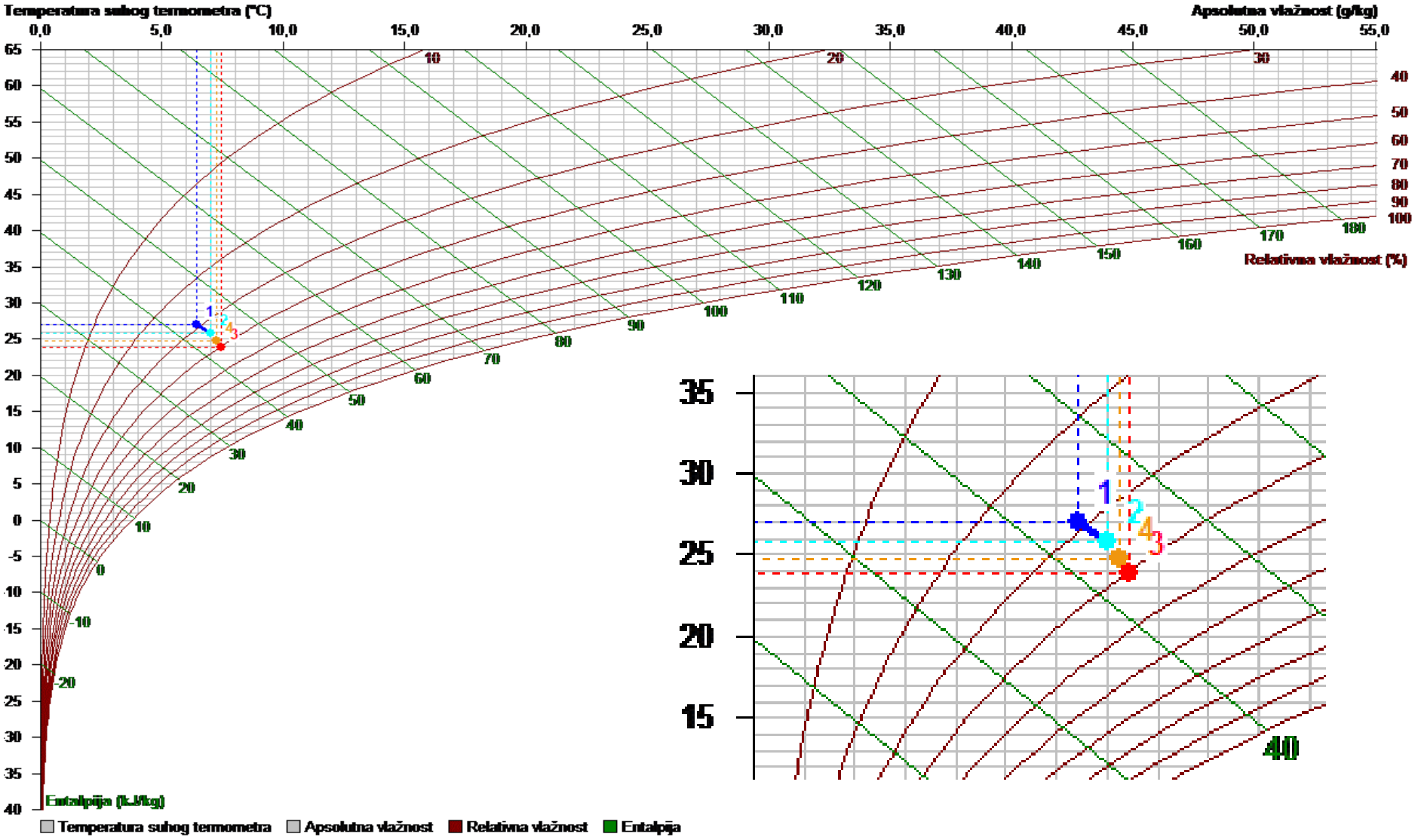
$\psi_1 = \frac{6.9-6.8}{6.9-6.7} = 0,5$ - za treću točku

5.2. Drugo mjerenje

Drugo mjerenje je izvedeno 13. srpnja 2020. s početkom u11 h i 49 min a završilo je u 12 h i 6 min. Mjerenja su izvedena istim pristupom kao i u slučaju prvog mjerenja, prikazom izmjerenih vrijednosti na početku, sredini i na kraju mjerenje. Na Slici 5.10 prikazane su odabrane vremenske točke. Može se uočiti izostanak očitanja pojedinih senzora u određenim točkama.

		Signal=Temperature,Measurement_Frequency=2.0Hz,Product=SHT3x_85,Port=1,Type=float,Device=69781d04,Unit=Â°C,Device_Serial_Number=EKS2-5F00410014513631323633937,Sensor_Serial_Number=7522317	Signal=Relative_Humidity,Measurement_Frequency=2.0Hz,Product=SHT3x_85,Port=1,Type=float,Device=69781d04,Unit=%RH,Device_Serial_Number=EKS2-5F00410014513631323633937,Sensor_Serial_Number=7522317	Signal=Temperature,Measurement_Frequency=2.0Hz,Product=SHT3x_85,Port=2,Type=float,Device=69781d04,Unit=Â°C,Device_Serial_Number=EKS2-5F00410014513631323633937,Sensor_Serial_Number=7521860	Signal=Relative_Humidity,Measurement_Frequency=2.0Hz,Product=SHT3x_85,Port=2,Type=float,Device=69781d04,Unit=%RH,Device_Serial_Number=EKS2-5F00410014513631323633937,Sensor_Serial_Number=7521860	Signal=Temperature,Measurement_Frequency=2.0Hz,Product=SHT3x_85,Port=1,Type=float,Device=697e6b04,Unit=Â°C,Device_Serial_Number=EKS2-3A004C0017513631323633937,Sensor_Serial_Number=7521950	Signal=Relative_Humidity,Measurement_Frequency=2.0Hz,Product=SHT3x_85,Port=1,Type=float,Device=697e6b04,Unit=%RH,Device_Serial_Number=EKS2-3A004C0017513631323633937,Sensor_Serial_Number=7521950	Signal=Temperature,Measurement_Frequency=2.0Hz,Product=SHT3x_85,Port=2,Type=float,Device=697e6b04,Unit=Â°C,Device_Serial_Number=EKS2-3A004C0017513631323633937,Sensor_Serial_Number=7528773	Signal=Relative_Humidity,Measurement_Frequency=2.0Hz,Product=SHT3x_85,Port=2,Type=float,Device=697e6b04,Unit=%RH,Device_Serial_Number=EKS2-3A004C0017513631323633937,Sensor_Serial_Number=7528773
Epoch_UTC	Local_Date_Time	T_SHT3x_85_7522317	RH_SHT3x_85_75222317	T_SHT3x_85_7522186	RH_SHT3x_85_75221860	T_SHT3x_85_7522195	RH_SHT3x_85_75221950	T_SHT3x_85_7522877	RH_SHT3x_85_75228773
1594633784	2020-07-13T11:49:43.600000+02:00	26.964	28.964	25.776	33.852	23.776	40.564	24.804	37.056
1594633784	2020-07-13T11:49:44.100000+02:00	26.852	28.839	25.792	33.865	23.805	40.569	24.775	37.012
1594633785	2020-07-13T11:49:44.600000+02:00	26.724	28.770	25.792	33.778	23.789	40.541	24.788	37.067
1594633785	2020-07-13T11:49:45.100000+02:00	26.695	28.648	25.792	33.778	23.776	40.511	24.788	37.039
1594634240	2020-07-13T11:57:19.800000+02:00	27.429	31.485					25.031	37.340
1594634240	2020-07-13T11:57:20.100000+02:00					23.958	40.665		
1594634240	2020-07-13T11:57:20.200000+02:00			25.720	35.916				
1594634240	2020-07-13T11:57:20.300000+02:00	27.314	31.400					25.015	37.340
1594634771	2020-07-13T12:06:10.600000+02:00							25.763	35.216
1594634771	2020-07-13T12:06:10.900000+02:00					24.027	39.236		
1594634771	2020-07-13T12:06:11+02:00	28.398	28.185	25.608	35.556				
1594634771	2020-07-13T12:06:11.100000+02:00							25.861	35.069

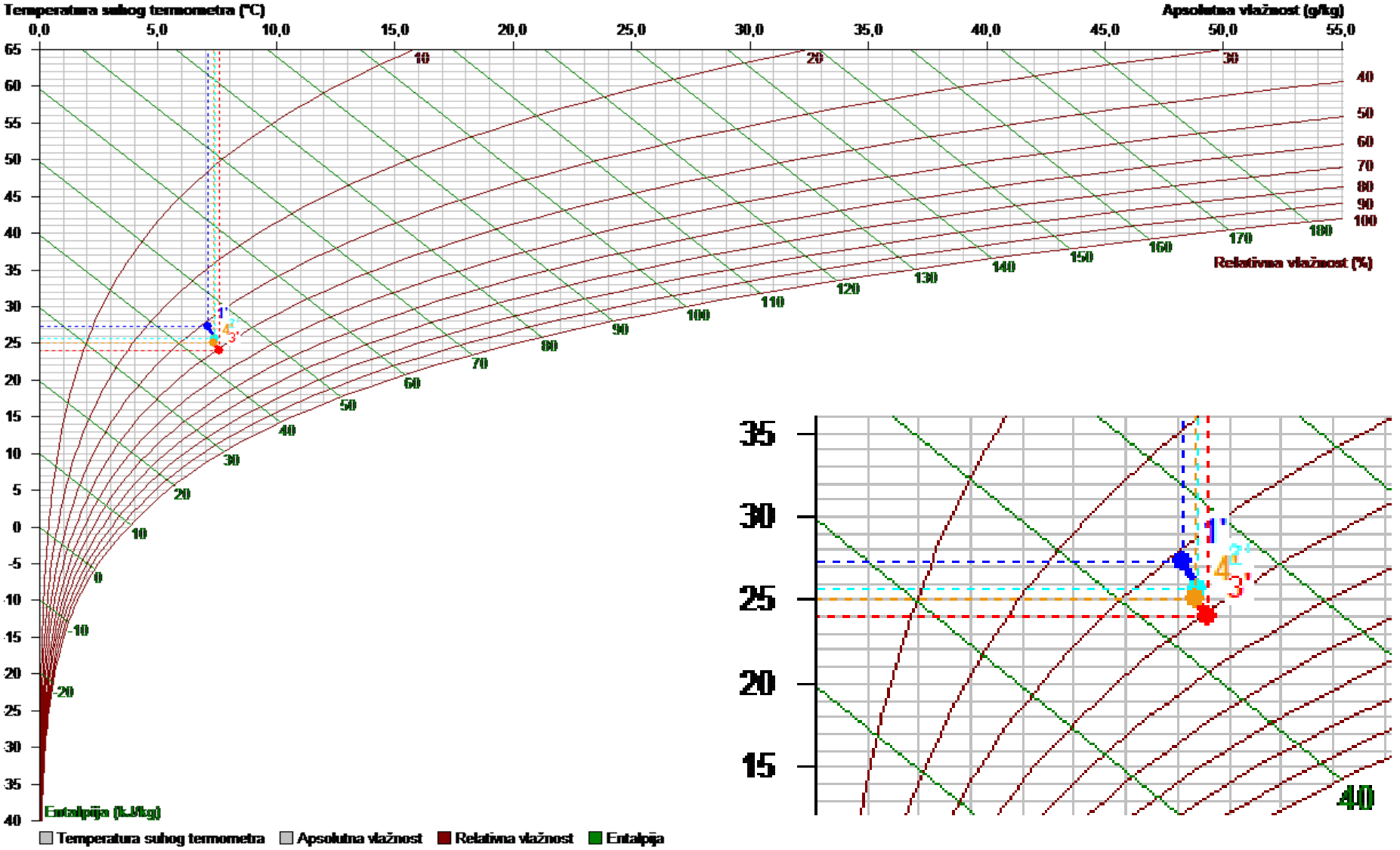
Slika 5.10 - Dobiveni rezultati drugog mjerenja (zeleno – svježi zrak, crveno – otpadni zrak) [13]



Slika 5.11- Prikaz prve točke drugog mjerenja u Mollierovom dijagram [13]

Tablica 5.4 – Prikaz karakterističnih vrijednosti izmjerenih parametara za prvu točku [13]

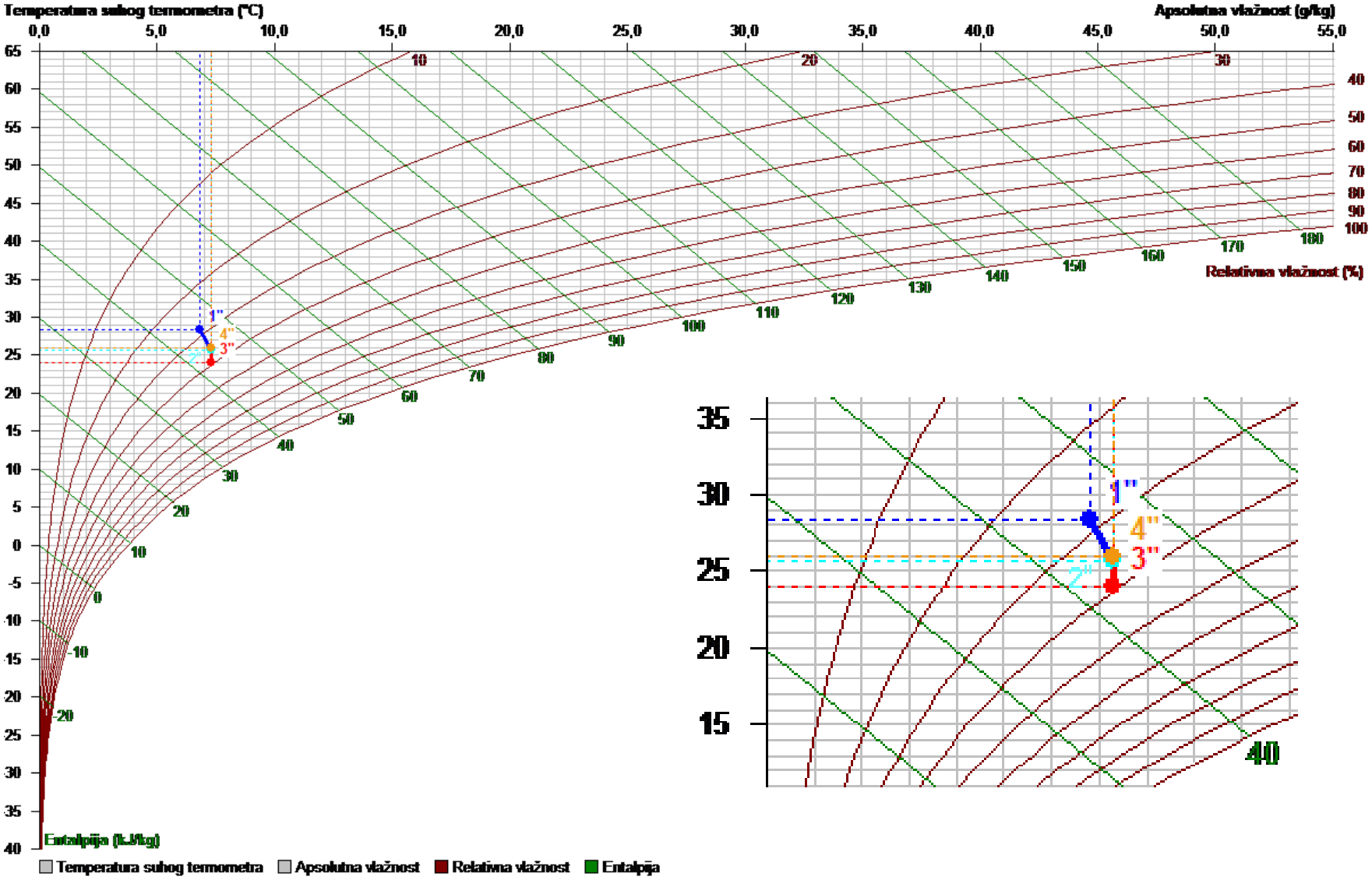
1		2		3		4	
Temperatura suhog termometra	27,0°C	Temperatura suhog termometra	25,8°C	Temperatura suhog termometra	23,8°C	Temperatura suhog termometra	24,8°C
Temperatura vlažnog termometra	15,6°C	Temperatura vlažnog termometra	15,7°C	Temperatura vlažnog termometra	15,4°C	Temperatura vlažnog termometra	15,5°C
Temperatura kondenzacije	7,5°C	Temperatura kondenzacije	8,8°C	Temperatura kondenzacije	9,7°C	Temperatura kondenzacije	9,2°C
Relativna vlažnost	29,0%	Relativna vlažnost	33,9%	Relativna vlažnost	40,6%	Relativna vlažnost	37,1%
Apsolutna vlažnost	6,4g/kg	Apsolutna vlažnost	7,0g/kg	Apsolutna vlažnost	7,5g/kg	Apsolutna vlažnost	7,2g/kg
Entalpija	43,6kJ/kg	Entalpija	43,8kJ/kg	Entalpija	42,9kJ/kg	Entalpija	43,4kJ/kg
Gustoća	1,168kg/m³	Gustoća	1,172kg/m³	Gustoća	1,180kg/m³	Gustoća	1,176kg/m³
Specifični volumen	0,862m³/kg	Specifični volumen	0,859m³/kg	Specifični volumen	0,854m³/kg	Specifični volumen	0,857m³/kg
Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa
Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h



Slika 5.12 - Prikaz druge točke drugog mjerenja u Mollierovom dijagram [13]

Tablica 5.5 – Prikaz karakterističnih vrijednosti izmjerenih parametara za drugu točku [13]

1'		2'		3'		4'	
Temperatura suhog termometra	27,3°C	Temperatura suhog termometra	25,7°C	Temperatura suhog termometra	24,0°C	Temperatura suhog termometra	25,0°C
Temperatura vlažnog termometra	16,3°C	Temperatura vlažnog termometra	16,0°C	Temperatura vlažnog termometra	15,5°C	Temperatura vlažnog termometra	15,7°C
Temperatura kondenzacije	8,9°C	Temperatura kondenzacije	9,5°C	Temperatura kondenzacije	9,9°C	Temperatura kondenzacije	9,5°C
Relativna vlažnost	31,4%	Relativna vlažnost	35,9%	Relativna vlažnost	40,7%	Relativna vlažnost	37,3%
Apsolutna vlažnost	7,1g/kg	Apsolutna vlažnost	7,4g/kg	Apsolutna vlažnost	7,6g/kg	Apsolutna vlažnost	7,4g/kg
Entalpija	45,6kJ/kg	Entalpija	44,7kJ/kg	Entalpija	43,4kJ/kg	Entalpija	43,9kJ/kg
Gustoća	1,166kg/m³	Gustoća	1,172kg/m³	Gustoća	1,179kg/m³	Gustoća	1,175kg/m³
Specifični volumen	0,864m³/kg	Specifični volumen	0,859m³/kg	Specifični volumen	0,855m³/kg	Specifični volumen	0,857m³/kg
Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa
Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h



Slika 5.13 - Prikaz treće točke drugog mjerenja u Mollierovom dijagram [13]

Tablica 5.6 – Prikaz karakterističnih vrijednosti izmjerenih parametara za treću točku [13]

1"		2"		3"		4"	
Temperatura suhog termometra	28,4°C	Temperatura suhog termometra	25,6°C	Temperatura suhog termometra	24,0°C	Temperatura suhog termometra	25,9°C
Temperatura vlažnog termometra	16,5°C	Temperatura vlažnog termometra	15,9°C	Temperatura vlažnog termometra	15,3°C	Temperatura vlažnog termometra	16,0°C
Temperatura kondenzacije	8,3°C	Temperatura kondenzacije	9,3°C	Temperatura kondenzacije	9,3°C	Temperatura kondenzacije	9,4°C
Relativna vlažnost	28,2%	Relativna vlažnost	35,6%	Relativna vlažnost	39,2%	Relativna vlažnost	35,1%
Apsolutna vlažnost	6,8g/kg	Apsolutna vlažnost	7,3g/kg	Apsolutna vlažnost	7,3g/kg	Apsolutna vlažnost	7,3g/kg
Entalpija	45,9kJ/kg	Entalpija	44,3kJ/kg	Entalpija	42,7kJ/kg	Entalpija	44,7kJ/kg
Gustoća	1,162kg/m³	Gustoća	1,173kg/m³	Gustoća	1,179kg/m³	Gustoća	1,171kg/m³
Specifični volumen	0,866m³/kg	Specifični volumen	0,859m³/kg	Specifični volumen	0,854m³/kg	Specifični volumen	0,860m³/kg
Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa
Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h

Na početku drugog mjerenja stanje na brojaču potrošnje električne energije bilo je 20 Wh a na kraju mjerenja je potrošnja bila 34 Wh, što daje potrošnju od 14 Wh. S obzirom da je mjerenje trajalo nešto duže i iznosilo je 16,5 minuta, može se procijeniti potrošnja energije od oko 50,9 Wh za vrijeme jednosatnog rada uređaja.



Slika 5.14 - Prikaz početnog stanja potrošnje brojila el. energije [13]



Slika 5.15 - Prikaz završnog stanja potrošnje brojila el. energije [13]

U drugom mjerenju može se uočiti nešto veća razlika između vanjske i unutarnje temperature zraka, što ima za rezultat reprezentativnije rezultate mjerenja radnih parametra. Na samom kraju mjerenja nije prisutan povrat vlage iz otpadnog zraka.

Koeficijent povrata topline na strani svježeg vanjskog zraka:

$\eta_t = \frac{25.78-26.96}{23.78-26.96} = 0{,}371$ - za prvu točku

$\eta_t = \frac{25.72-27.43}{23.96-27.43} = 0{,}492$ - za drugu točku

$\eta_t = \frac{25.61-28.4}{24.03-28.4} = 0{,}638$ - za treću točku

Koeficijent povrata topline na strani otpadnog zraka:

$\eta_t = \frac{23.78-24.8}{23.78-26.96} = 0{,}321$- za prvu točku

$\eta_t = \frac{23.96-25.02}{23.96-27.43} = 0{,}305$ - za drugu točku

$\eta_t = \frac{24.03-25.86}{24.03-28.4} = 0{,}419$ - za treću točku

Koeficijent povrata vlage na strani svježeg vanjskog zraka:

$\psi_2 = \frac{7.0-6.4}{7.5-6.4} = 0{,}545$ - za prvu točku mjerenja

$\psi_2 = \frac{7.4-7.1}{7.6-7.1} = 0{,}6$ - za drugu točku mjerenja

$\psi_2 = \frac{7.3-6.8}{7.3-6.8} = 1$ - za treću točku mjerenja

Koeficijent povrata vlage na strani otpadnog zraka:

$\psi_1 = \frac{7.5-7.2}{7.5-6.4} = 0{,}273$ - za prvu točku

$\psi_1 = \frac{7.6-7.4}{7.6-7.1} = 0{,}4$ - za drugu točku

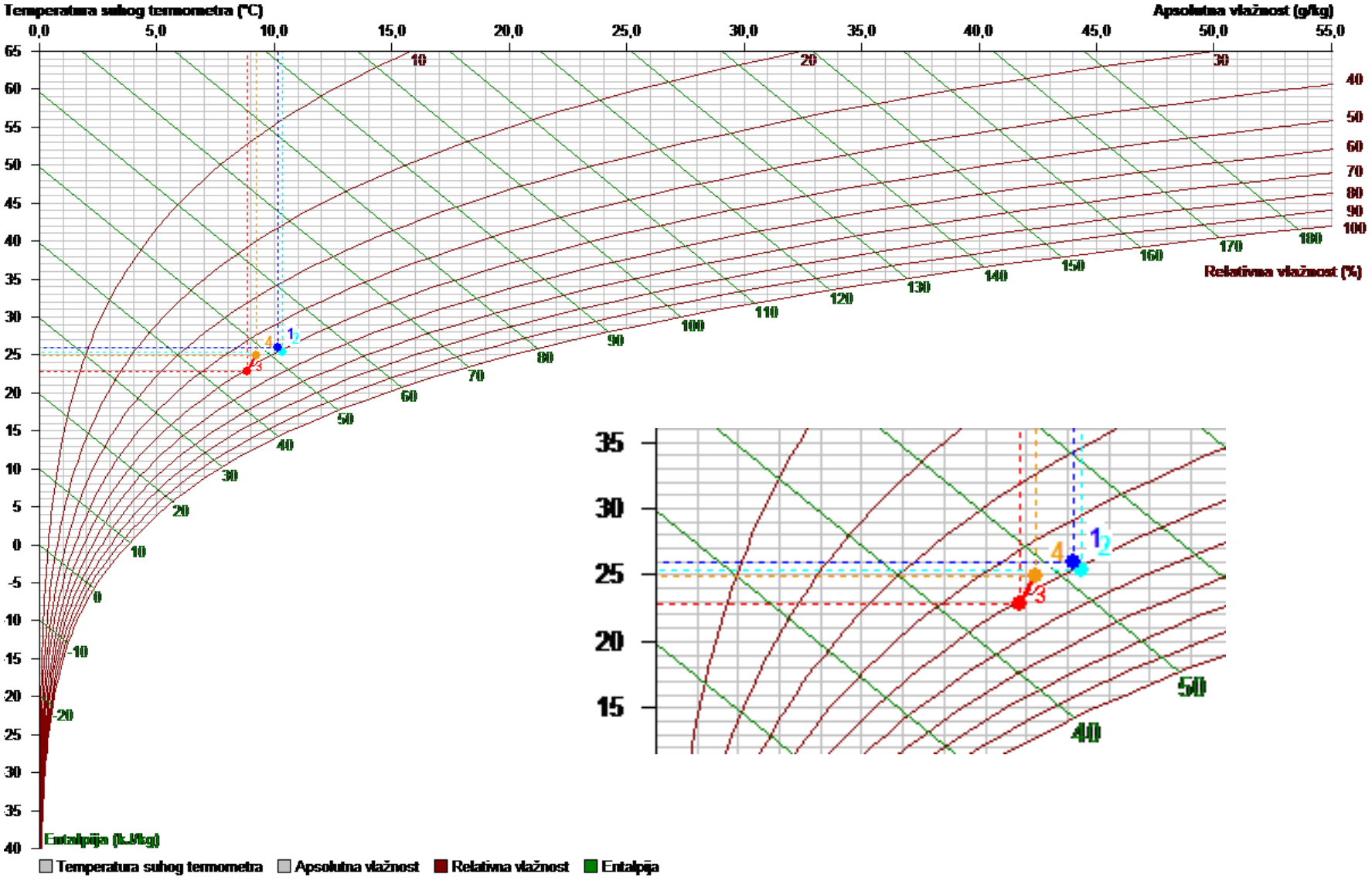
$\psi_1 = \frac{7.3-7.3}{7.3-6.8} = 0$ - za treću točku

5.3. Treće mjerenje

Treće mjerenje je izvedeno 15. srpnja 2020. s početkom u 12 h i 30 min a završilo je u 12 h i 47 min. Na Slici 5.16 su prikazane odabrane vremenske točke.

		Port=1,Product=SHT3x_85,Measurement_Frequency=2.0Hz,Sensor_Serial_Number=75222317,Device=69781d04,Device_Serial_Number=EKS2-5FO0410014513631323639 37,Signal=Temperature,Unit=Â°C,Type=float	Port=1,Product=SHT3x_85,Measurement_Frequency=2.0Hz,Sensor_Serial_Number=75222317,Device=69781d04,Device_Serial_Number=EKS2-5FO0410014513631323639 37,Signal=Relative_Humidity,Unit=%RH,Type=float	Port=2,Product=SHT3x_85,Measurement_Frequency=2.0Hz,Sensor_Serial_Number=75221860,Device=69781d04,Device_Serial_Number=EKS2-5FO0410014513631323639 37,Signal=Temperature,Unit=Â°C,Type=float	Port=2,Product=SHT3x_85,Measurement_Frequency=2.0Hz,Sensor_Serial_Number=75221860,Device=69781d04,Device_Serial_Number=EKS2-5FO0410014513631323639 37,Signal=Relative_Humidity,Unit=%RH,Type=float	Port=1,Product=SHT3x_85,Measurement_Frequency=2.0Hz,Sensor_Serial_Number=75221950,Device=697e6b04,Device_Serial_Number=EKS2-3A004C0017513631323639 37,Signal=Temperature,Unit=Â°C,Type=float	Port=1,Product=SHT3x_85,Measurement_Frequency=2.0Hz,Sensor_Serial_Number=75221950,Device=697e6b04,Device_Serial_Number=EKS2-3A004C0017513631323639 37,Signal=Relative_Humidity,Unit=%RH,Type=float	Port=2,Product=SHT3x_85,Measurement_Frequency=2.0Hz,Sensor_Serial_Number=75228773,Device=697e6b04,Device_Serial_Number=EKS2-3A004C0017513631323639 37,Signal=Temperature,Unit=Â°C,Type=float	Port=2,Product=SHT3x_85,Measurement_Frequency=2.0Hz,Sensor_Serial_Number=75228773,Device=697e6b04,Device_Serial_Number=EKS2-3A004C0017513631323639 37,Signal=Relative_Humidity,Unit=%RH,Type=float
Epoch_UTC	Local_Date_Time	T_SHT3x_85_75222317	RH_SHT3x_85_75222317	T_SHT3x_85_75221860	RH_SHT3x_85_75221860	T_SHT3x_85_75221950	RH_SHT3x_85_75221950	T_SHT3x_85_75228773	RH_SHT3x_85_75228773
1594809044	2020-07-15T12:30:43.700000+02:	25.893	48.634	25.437	50.961	22.777	51.015	24.887	47.043
1594809044	2020-07-15T12:30:44.200000+02:	25.923	48.625	25.437	51.001	22.791	51.079	24.873	46.947
1594809045	2020-07-15T12:30:44.700000+02:	25.936	48.579	25.466	51.028	22.777	51.042	24.860	46.896
1594809045	15T12:30:45.200000+02:	25.966	48.584	25.453	51.003	22.777	51.065	24.831	46.785
1594809446	2020-07-15T12:37:25.800000+02:	26.430	46.336	25.170	52.214	23.002	55.186	24.326	50.731
1594809446	15T12:37:26.300000+02:	26.473	46.379	25.186	52.216	23.015	55.167	24.339	50.699
1594809447	15T12:37:26.800000+02:	26.430	46.420	25.170	52.177	22.986	55.173	24.339	50.676
1594809447	15T12:37:27.300000+02:	26.430	46.434	25.199	52.182	22.986	55.173	24.339	50.687
1594810054	15T12:47:34.400000+02:	26.473	47.331	25.242	51.108	23.213	52.655	24.254	49.135
1594810055	15T12:47:34.900000+02:	26.486	47.247	25.269	51.099	23.213	52.623	24.225	49.106
1594810055	15T12:47:35.400000+02:	26.529	47.217	25.255	51.158	23.213	52.623	24.267	49.149
1594810056	2020-07-15T12:47:35	26.569	47.221	25.255	51.134	23.213	52.589	24.254	49.184

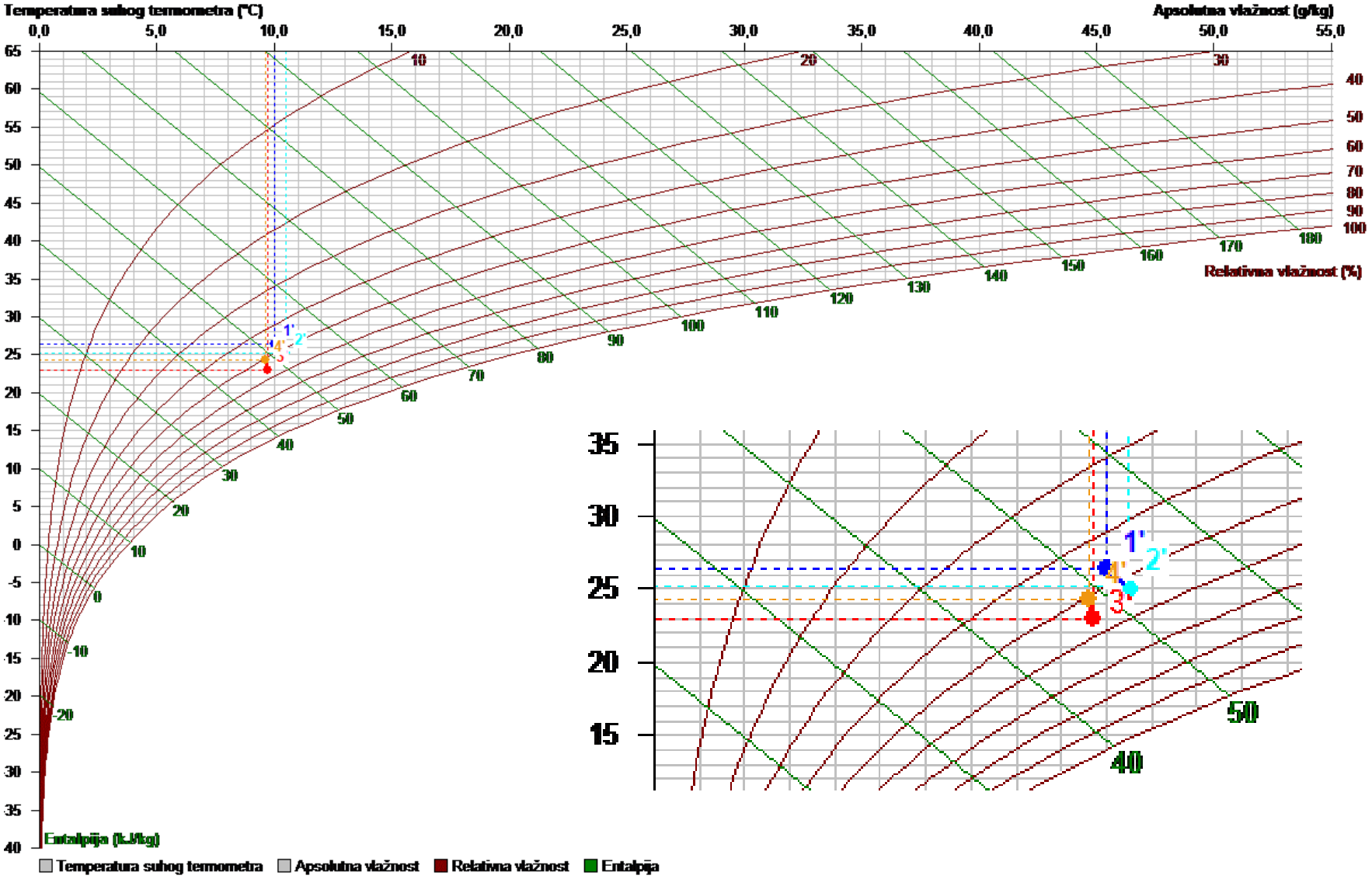
Slika 5.16 - Dobiveni rezultati trećeg mjerenja (zeleno – svježi zrak, crveno – otpadni zrak) [13]



Slika 5.17 - Prikaz prve točke trećeg mjerenja u Mollierovom dijagram [13]

Tablica 5.7 – Prikaz karakterističnih vrijednosti izmjerenih parametara za prvu točku [13]

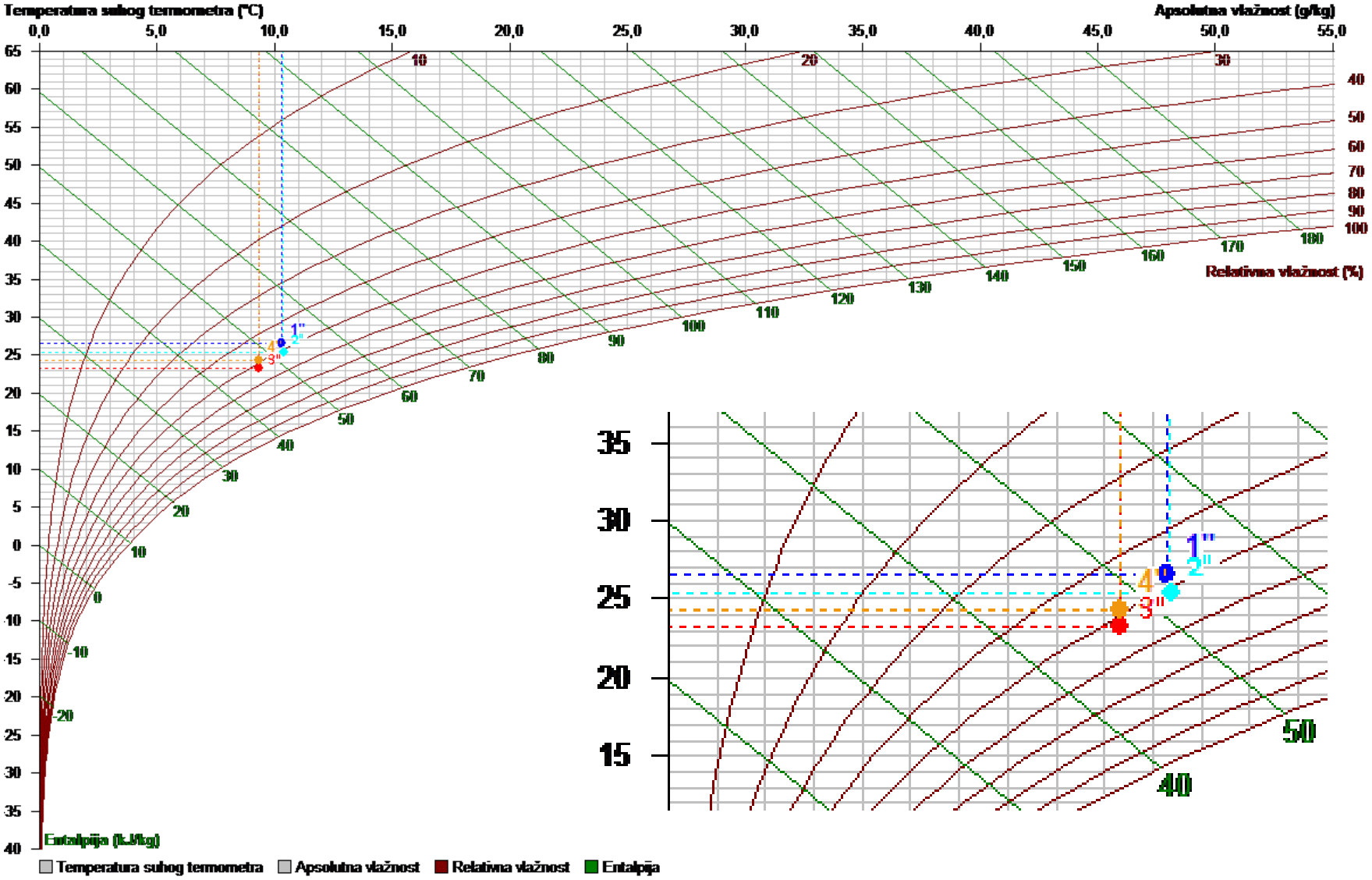
1		2		3		4	
Temperatura suhog termometra	25,9°C	Temperatura suhog termometra	25,4°C	Temperatura suhog termometra	22,8°C	Temperatura suhog termometra	24,9°C
Temperatura vlažnog termometra	18,4°C	Temperatura vlažnog termometra	18,4°C	Temperatura vlažnog termometra	16,2°C	Temperatura vlažnog termometra	17,3°C
Temperatura kondenzacije	14,3°C	Temperatura kondenzacije	14,6°C	Temperatura kondenzacije	12,2°C	Temperatura kondenzacije	12,8°C
Relativna vlažnost	48,6%	Relativna vlažnost	51,0%	Relativna vlažnost	51,0%	Relativna vlažnost	47,0%
Apsolutna vlažnost	10,2g/kg	Apsolutna vlažnost	10,4g/kg	Apsolutna vlažnost	8,8g/kg	Apsolutna vlažnost	9,3g/kg
Entalpija	52,0kJ/kg	Entalpija	51,9kJ/kg	Entalpija	45,4kJ/kg	Entalpija	48,6kJ/kg
Gustoća	1,170kg/m³	Gustoća	1,171kg/m³	Gustoća	1,183kg/m³	Gustoća	1,174kg/m³
Specifični volumen	0,864m³/kg	Specifični volumen	0,863m³/kg	Specifični volumen	0,853m³/kg	Specifični volumen	0,860m³/kg
Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa
Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h



Slika 5.18 - Prikaz druge točke trećeg mjerenja u Mollierovom dijagram [13]

Tablica 5.8 – Prikaz karakterističnih vrijednosti izmjerenih parametara za drugu točku [13]

1'		2'		3'		4'	
Temperatura suhog termometra	26,4°C	Temperatura suhog termometra	25,2°C	Temperatura suhog termometra	23,0°C	Temperatura suhog termometra	24,3°C
Temperatura vlažnog termometra	18,4°C	Temperatura vlažnog termometra	18,4°C	Temperatura vlažnog termometra	17,0°C	Temperatura vlažnog termometra	17,4°C
Temperatura kondenzacije	14,0°C	Temperatura kondenzacije	14,7°C	Temperatura kondenzacije	13,6°C	Temperatura kondenzacije	13,5°C
Relativna vlažnost	46,4%	Relativna vlažnost	52,2%	Relativna vlažnost	55,2%	Relativna vlažnost	50,7%
Apsolutna vlažnost	10,0g/kg	Apsolutna vlažnost	10,5g/kg	Apsolutna vlažnost	9,7g/kg	Apsolutna vlažnost	9,6g/kg
Entalpija	52,1kJ/kg	Entalpija	52,0kJ/kg	Entalpija	47,8kJ/kg	Entalpija	49,0kJ/kg
Gustoća	1,168kg/m³	Gustoća	1,172kg/m³	Gustoća	1,181kg/m³	Gustoća	1,176kg/m³
Specifični volumen	0,865m³/kg	Specifični volumen	0,862m³/kg	Specifični volumen	0,855m³/kg	Specifični volumen	0,858m³/kg
Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa
Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h

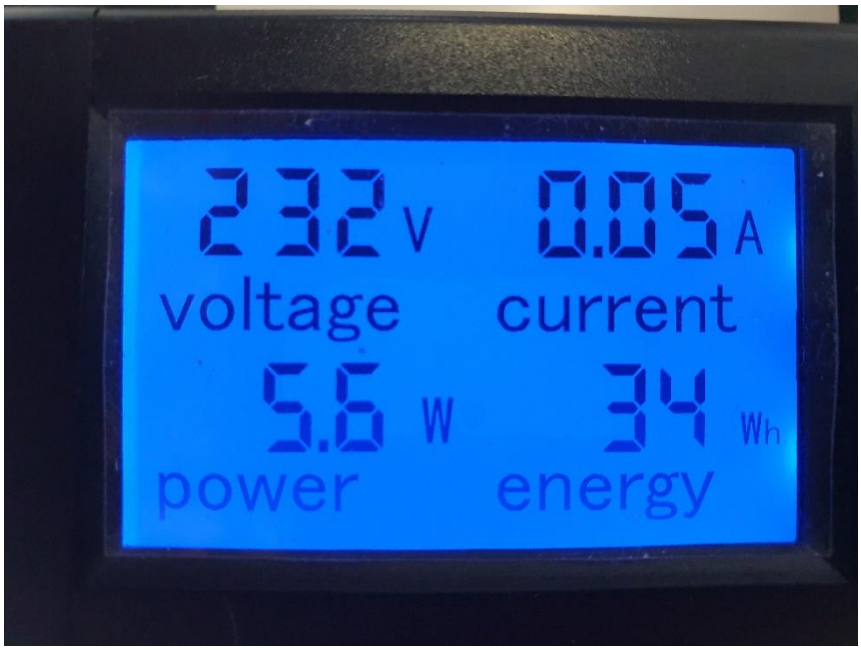


Slika 5.19 - Prikaz treće točke trećeg mjerenja u Mollierovom dijagram [13]

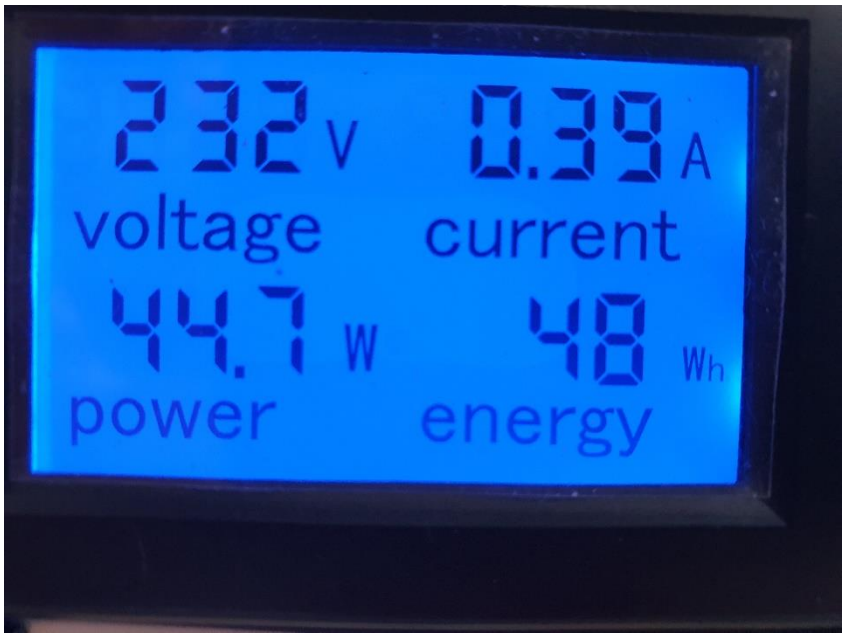
Tablica 5.9 – Prikaz karakterističnih vrijednosti izmjerenih parametara za treću točku [13]

1"		2"		3"		4"	
Temperatura suhog termometra	26,6°C	Temperatura suhog termometra	25,3°C	Temperatura suhog termometra	23,2°C	Temperatura suhog termometra	24,3°C
Temperatura vlažnog termometra	18,7°C	Temperatura vlažnog termometra	18,3°C	Temperatura vlažnog termometra	16,8°C	Temperatura vlažnog termometra	17,2°C
Temperatura kondenzacije	14,5°C	Temperatura kondenzacije	14,5°C	Temperatura kondenzacije	13,0°C	Temperatura kondenzacije	13,0°C
Relativna vlažnost	47,2%	Relativna vlažnost	51,1%	Relativna vlažnost	52,6%	Relativna vlažnost	49,2%
Apsolutna vlažnost	10,3g/kg	Apsolutna vlažnost	10,3g/kg	Apsolutna vlažnost	9,4g/kg	Apsolutna vlažnost	9,4g/kg
Entalpija	53,0kJ/kg	Entalpija	51,7kJ/kg	Entalpija	47,1kJ/kg	Entalpija	48,2kJ/kg
Gustoća	1,167kg/m³	Gustoća	1,172kg/m³	Gustoća	1,181kg/m³	Gustoća	1,176kg/m³
Specifični volumen	0,866m³/kg	Specifični volumen	0,862m³/kg	Specifični volumen	0,855m³/kg	Specifični volumen	0,858m³/kg
Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa
Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h

Na početku trećeg mjerenja stanje na brojaču potrošnje električne energije je bilo 34 Wh a na kraju mjerenja je potrošnja bila 48 Wh, što daje potrošnju od 14 Wh. S obzirom da je mjerenje trajalo 16,5 min, može se procijeniti potrošnja energije od oko 50,9 Wh za vrijeme jednosatnog rada uređaja.



Slika 5.20 - Prikaz početnog stanja potrošnje brojila el. energije [13]



Slika 5.21 - Prikaz završnog stanja potrošnje brojila el. energije [13]

Koeficijent povrata topline na strani svježeg vanjskog zraka:

$\eta_t = \frac{25.44-25.89}{22.77-25.89} = 0{,}144$ - za prvu točku

$\eta_t = \frac{25.17-26.43}{22.99-26.43} = 0{,}366$ - za drugu točku

$\eta_t = \frac{25.26-26.57}{23.21-26.57} = 0{,}39$ - za treću točku

Koeficijent povrata topline na strani otpadnog zraka:

$\eta_t = \frac{22.77-24.89}{22.77-25.89} = 0{,}679$- za prvu točku

$\eta_t = \frac{22.99-24.34}{22.99-26.43} = 0{,}392$ - za drugu točku

$\eta_t = \frac{23.21-24.25}{23.21-26.57} = 0{,}31$ - za treću točku

Koeficijent povrata vlage na strani svježeg vanjskog zraka:

$\psi_2 = \frac{10.4-10.2}{8.8-10.2} = -0{,}143$ za prvu točku mjerenja

$\psi_2 = \frac{10.5-10}{9.7-10} = -1{,}666$ za drugu točku mjerenja

$\psi_2 = \frac{10.3-10.3}{9.4-10.3} = 0$ za treću točku mjerenja

Koeficijent povrata vlage na strani otpadnog zraka:

$\psi_1 = \frac{x_3-x_4}{x_3-x_1}$ - sa strane otpadnog zraka

$\psi_2 = \frac{8.8-9.3}{8.8-10.2} = 0{,}357$ za prvu točku mjerenja

$\psi_2 = \frac{9.7-9.6}{9.7-10} = -0{,}333$ za drugu točku mjerenja

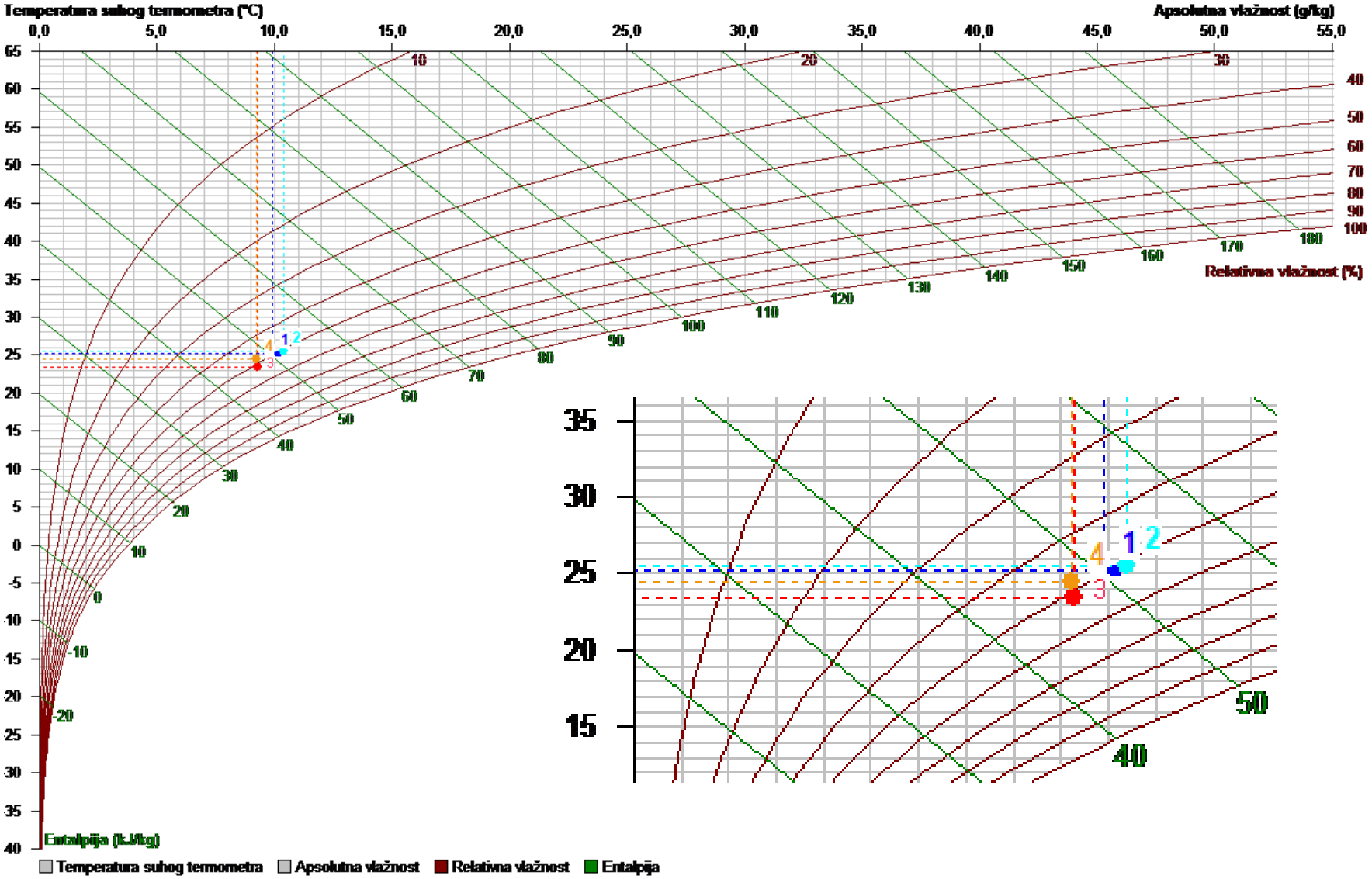
$\psi_2 = \frac{9.4-9.4}{9.4-10.3} = 0$ za treću točku mjerenja

5.4. Četvrto mjerenje

Četvrto mjerenje je izvedeno 15. srpnja 2020. s početkom u12 h i 55 min a završilo je u 13 h i 10 min. Na Slici 5.16 su prikazane odabrane vremenske točke.

		Port=1,Product=SHT3x_85,Measurement_Frequency=2.0Hz,Sensor_Serial_Number=75222317,Device=69781d04,Device_Serial_Number=EKS2-5FO041001451363132363937,Signal=Temperature,Unit=Â°C,Type=float	Port=1,Product=SHT3x_85,Measurement_Frequency=2.0Hz,Sensor_Serial_Number=75222317,Device=69781d04,Device_Serial_Number=EKS2-5FO041001451363132363937,Signal=Relative_Humidity,Unit=%RH,Type=float	Port=2,Product=SHT3x_85,Measurement_Frequency=2.0Hz,Sensor_Serial_Number=75221860,Device=69781d04,Device_Serial_Number=EKS2-5FO041001451363132363937,Signal=Temperature,Unit=Â°C,Type=float	Port=2,Product=SHT3x_85,Measurement_Frequency=2.0Hz,Sensor_Serial_Number=75221860,Device=69781d04,Device_Serial_Number=EKS2-5FO041001451363132363937,Signal=Relative_Humidity,Unit=%RH,Type=float	Port=1,Product=SHT3x_85,Measurement_Frequency=2.0Hz,Sensor_Serial_Number=75221950,Device=697e6b04,Device_Serial_Number=EKS2-3AO04C001751363132363937,Signal=Temperature,Unit=Â°C,Type=float	Port=1,Product=SHT3x_85,Measurement_Frequency=2.0Hz,Sensor_Serial_Number=75221950,Device=697e6b04,Device_Serial_Number=EKS2-3AO04C001751363132363937,Signal=Relative_Humidity,Unit=%RH,Type=float	Port=2,Product=SHT3x_85,Measurement_Frequency=2.0Hz,Sensor_Serial_Number=75228773,Device=697e6b04,Device_Serial_Number=EKS2-3AO04C001751363132363937,Signal=Temperature,Unit=Â°C,Type=float	Port=2,Product=SHT3x_85,Measurement_Frequency=2.0Hz,Sensor_Serial_Number=75228773,Device=697e6b04,Device_Serial_Number=EKS2-3AO04C001751363132363937,Signal=Relative_Humidity,Unit=%RH,Type=float
Epoch_UTC	Local_Date_Time	T_SHT3x_85_75222317	RH_SHT3x_85_75222317	T_SHT3x_85_75221860	RH_SHT3x_85_75221860	T_SHT3x_85_75221950	RH_SHT3x_85_75221950	T_SHT3x_85_75228773	RH_SHT3x_85_75228773
1.6E+09	2020-07-15T12:54:58.300000+02:00	25.221	49.225	25.453	50.905	23.437	51.669	24.382	48.242
1.6E+09	2020-07-15T12:54:58.800000+02:00	25.221	49.286	25.424	50.874	23.423	51.666	24.409	48.260
1.6E+09	2020-07-15T12:54:59.300000+02:00	25.234	49.385	25.453	50.879	23.437	51.656	24.409	48.213
1.6E+09	2020-07-15T12:54:59.800000+02:00	25.277	49.487	25.453	50.842	23.450	51.634	24.425	48.250
1.6E+09	2020-07-15T13:02:30+02:00	26.163	45.668	25.298	50.699	23.522	50.745	24.395	48.077
1.6E+09	2020-07-15T13:02:30.500000+02:00	26.134	45.787	25.311	50.662	23.506	50.719	24.425	48.071
1.6E+09	2020-07-15T13:02:31+02:00	26.091	45.892	25.325	50.703	23.522	50.722	24.409	48.068
1.6E+09	2020-07-15T13:02:31.500000+02:00	26.104	46.002	25.298	50.687	23.522	50.769	24.438	48.085
1.6E+09	2020-07-15T13:10:04.400000+02:00			25.367	49.345	23.674	50.365		
1.6E+09	2020-07-15T13:10:04.500000+02:00	25.498	46.924					24.580	47.458
1.6E+09	2020-07-15T13:10:04.900000+02:00			25.367	49.371	23.690	50.392		
1.6E+09	2020-07-15T13:10:05+02:00	25.485	46.959					24.620	47.440

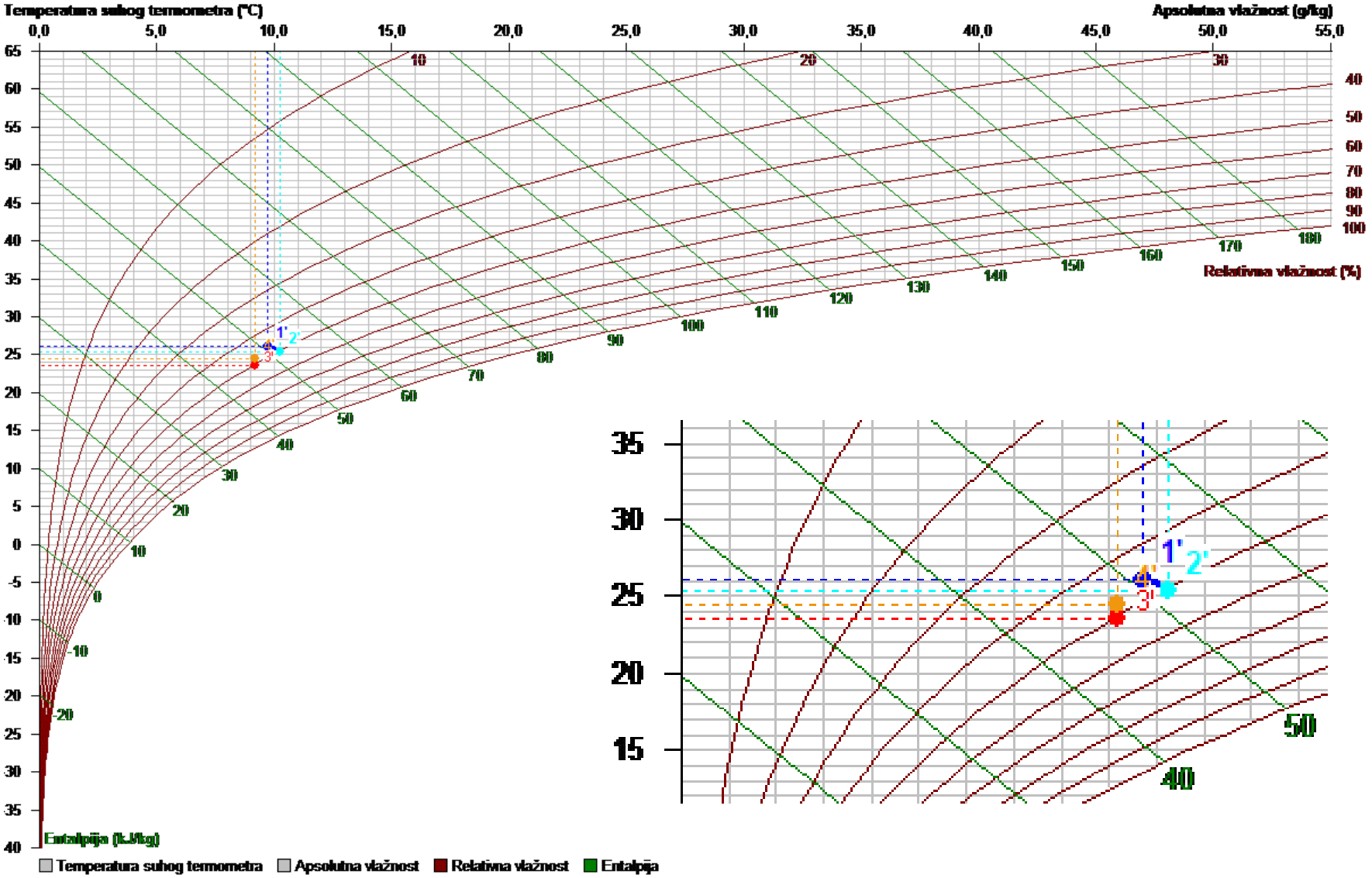
Slika 5.22 - Dobiveni rezultati četvrtog mjerenja (zeleno – svježi zrak, crveno – otpadni zrak) [13]



Slika 5.23 - Prikaz prve točke četvrtog mjerenja u Mollierovom dijagram [13]

Tablica 5.10 – Prikaz karakterističnih vrijednosti izmjerenih parametara za prvu točku [13]

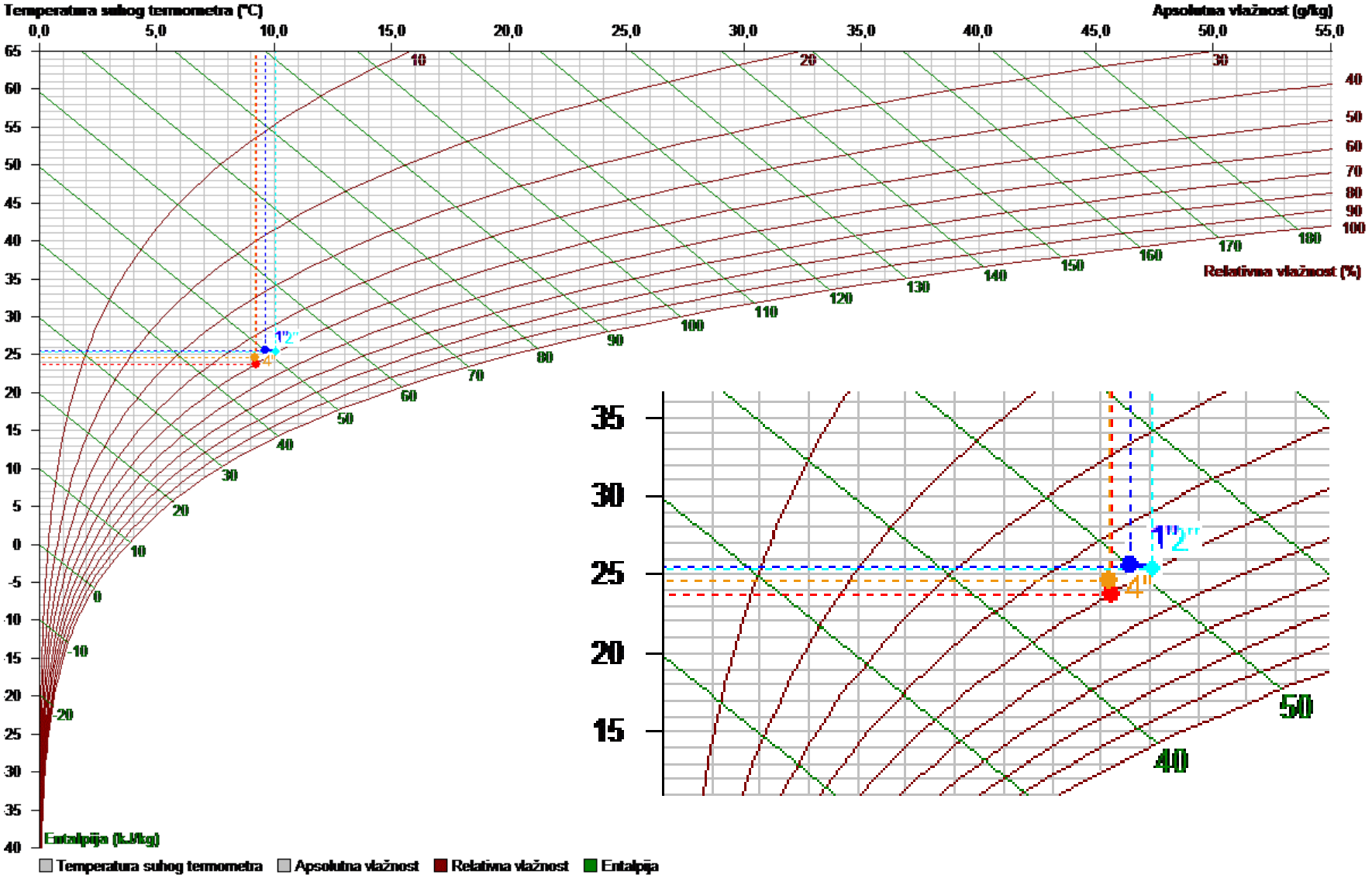
1		2		3		4	
Temperatura suhog termometra	25,2°C	Temperatura suhog termometra	25,5°C	Temperatura suhog termometra	23,4°C	Temperatura suhog termometra	24,4°C
Temperatura vlažnog termometra	17,9°C	Temperatura vlažnog termometra	18,4°C	Temperatura vlažnog termometra	16,8°C	Temperatura vlažnog termometra	17,1°C
Temperatura kondenzacije	13,9°C	Temperatura kondenzacije	14,6°C	Temperatura kondenzacije	12,9°C	Temperatura kondenzacije	12,8°C
Relativna vlažnost	49,4%	Relativna vlažnost	50,9%	Relativna vlažnost	51,7%	Relativna vlažnost	48,2%
Apsolutna vlažnost	9,9g/kg	Apsolutna vlažnost	10,4g/kg	Apsolutna vlažnost	9,3g/kg	Apsolutna vlažnost	9,2g/kg
Entalpija	50,6kJ/kg	Entalpija	52,2kJ/kg	Entalpija	47,2kJ/kg	Entalpija	48,0kJ/kg
Gustoća	1,172kg/m³	Gustoća	1,171kg/m³	Gustoća	1,180kg/m³	Gustoća	1,176kg/m³
Specifični volumen	0,861m³/kg	Specifični volumen	0,863m³/kg	Specifični volumen	0,855m³/kg	Specifični volumen	0,858m³/kg
Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa
Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h



Slika 5.24 - Prikaz druge točke četvrtog mjerenja u Mollierovom dijagram [13]

Tablica 5.11 – Prikaz karakterističnih vrijednosti izmjerenih parametara za drugu točku [13]

1'		2'		3'		4'	
Temperatura suhog termometra	26,1°C	Temperatura suhog termometra	25,3°C	Temperatura suhog termometra	23,5°C	Temperatura suhog termometra	24,4°C
Temperatura vlažnog termometra	18,1°C	Temperatura vlažnog termometra	18,2°C	Temperatura vlažnog termometra	16,8°C	Temperatura vlažnog termometra	17,1°C
Temperatura kondenzacije	13,6°C	Temperatura kondenzacije	14,4°C	Temperatura kondenzacije	12,7°C	Temperatura kondenzacije	12,8°C
Relativna vlažnost	45,9%	Relativna vlažnost	50,7%	Relativna vlažnost	50,7%	Relativna vlažnost	48,1%
Apsolutna vlažnost	9,7g/kg	Apsolutna vlažnost	10,2g/kg	Apsolutna vlažnost	9,2g/kg	Apsolutna vlažnost	9,2g/kg
Entalpija	51,0kJ/kg	Entalpija	51,5kJ/kg	Entalpija	47,0kJ/kg	Entalpija	47,9kJ/kg
Gustoća	1,169kg/m³	Gustoća	1,172kg/m³	Gustoća	1,180kg/m³	Gustoća	1,176kg/m³
Specifični volumen	0,864m³/kg	Specifični volumen	0,862m³/kg	Specifični volumen	0,855m³/kg	Specifični volumen	0,858m³/kg
Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa
Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h

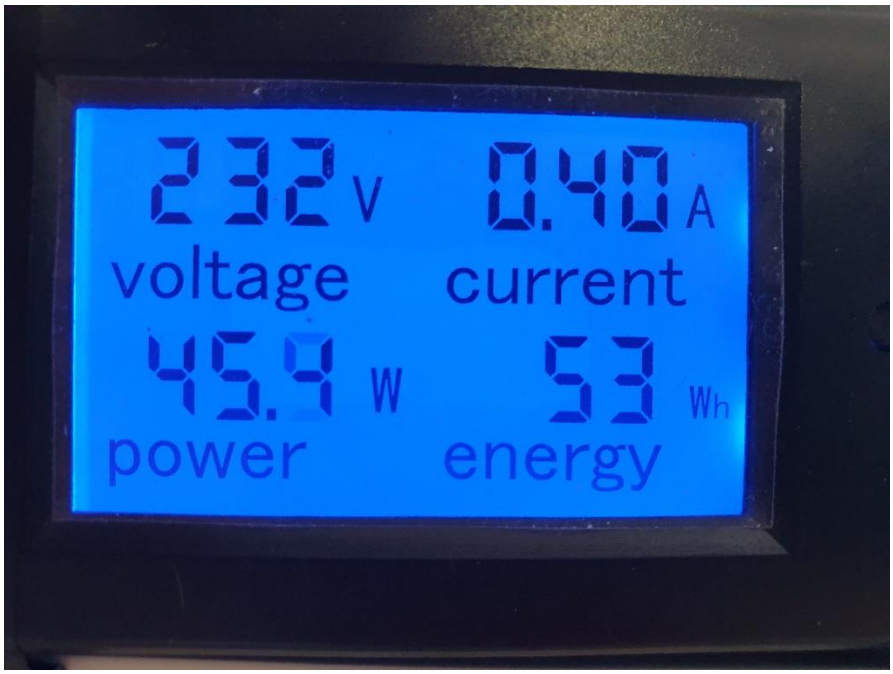


Slika 5.25 - Prikaz treće točke četvrtog mjerenja u Mollierovom dijagram [13]

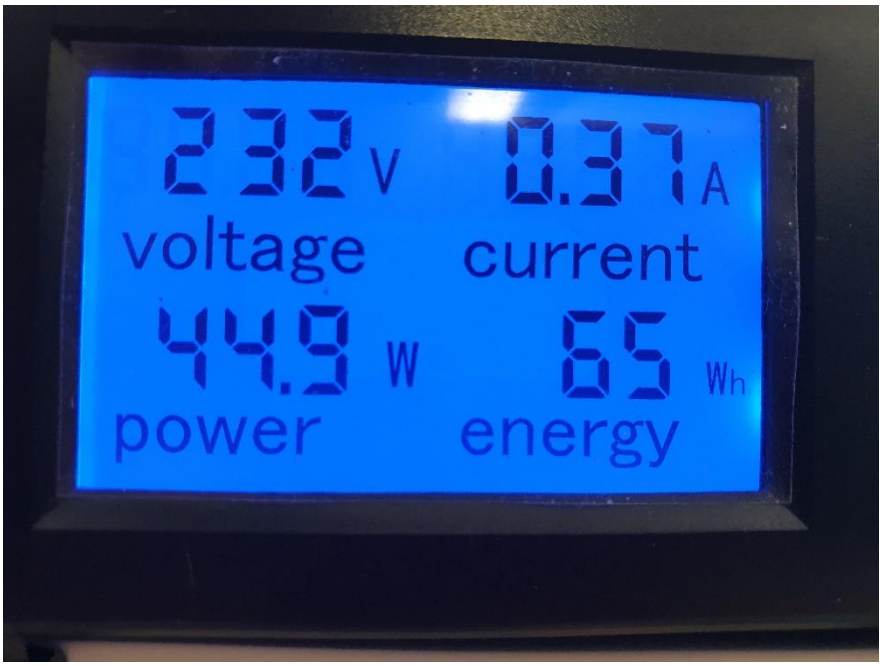
Tablica 5.12 – Prikaz karakterističnih vrijednosti izmjerenih parametara za treću točku [13]

1"		2"		3"		4"	
Temperatura suhog termometra	25,5°C	Temperatura suhog termometra	25,4°C	Temperatura suhog termometra	23,7°C	Temperatura suhog termometra	24,6°C
Temperatura vlažnog termometra	17,8°C	Temperatura vlažnog termometra	18,1°C	Temperatura vlažnog termometra	16,9°C	Temperatura vlažnog termometra	17,1°C
Temperatura kondenzacije	13,4°C	Temperatura kondenzacije	14,1°C	Temperatura kondenzacije	12,8°C	Temperatura kondenzacije	12,7°C
Relativna vlažnost	47,0%	Relativna vlažnost	49,4%	Relativna vlažnost	50,4%	Relativna vlažnost	47,4%
Apsolutna vlažnost	9,6g/kg	Apsolutna vlažnost	10,0g/kg	Apsolutna vlažnost	9,2g/kg	Apsolutna vlažnost	9,2g/kg
Entalpija	50,1kJ/kg	Entalpija	51,1kJ/kg	Entalpija	47,3kJ/kg	Entalpija	48,1kJ/kg
Gustoća	1,171kg/m³	Gustoća	1,172kg/m³	Gustoća	1,179kg/m³	Gustoća	1,175kg/m³
Specifični volumen	0,862m³/kg	Specifični volumen	0,862m³/kg	Specifični volumen	0,856m³/kg	Specifični volumen	0,859m³/kg
Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa	Tlak	101009,5Pa
Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h	Protok zraka	196m³/h

Na početku četvrtog mjerenja stanje na brojaču potrošnje električne energije je bilo 53 Wh a na kraju mjerenja je potrošnja bila 65 Wh, što daje potrošnju od 12 Wh. S obzirom da je mjerenje trajalo 15 min možemo se procijeniti potrošnja energije od oko 48 Wh za vrijeme jednosatnog rada uređaja.



Slika 5.26 - Prikaz početnog stanja potrošnje brojila el. energije [13]



Slika 5.27 - Prikaz završnog stanja potrošnje brojila el. energije [13]

I u četvrtom mjerenju kao i do sada prikazanim mjerenjima u sve tri vremenske točke koje su prikazane u dijagramima rekuperator obavlja svoju funkciju povrata topline (u ovom slučaju povrat topline u vanjski prostor/okoliš), te nastoji održati vlažnost zraka u prostoru što bliže zadanom parametru od 50 % relativne vlažnosti.

Koeficijent povrata topline na strani svježeg vanjskog zraka:

$\eta_t = \frac{25.45-25.22}{23.44-25.22} = -0{,}129$ - za prvu točku

$\eta_t = \frac{25.298-26.10}{23.52-26.1} = 0{,}311$ - za drugu točku

$\eta_t = \frac{25.37-25.49}{23.69-25.49} = 0{,}067$ - za treću točku

Koeficijent povrata topline na strani otpadnog zraka:

$\eta_t = \frac{23.44-24.38}{23.44-25.22} = 0{,}528$- za prvu točku

$\eta_t = \frac{23.52-24.44}{23.52-26.1} = 0{,}357$ - za drugu točku

$\eta_t = \frac{23.69-24.62}{23.69-25.49} = 0{,}517$ - za treću točku

Koeficijent povrata vlage na strani svježeg vanjskog zraka:

$\psi_2 = \frac{10.4-9.9}{9.3-9.9} = -0{,}833$ za prvu točku mjerenja

$\psi_2 = \frac{10.2-9.7}{9.2-9.7} = -1$ za drugu točku mjerenja

$\psi_2 = \frac{10-9.6}{9.2-9.6} = -1$ za treću točku mjerenja

Koeficijent povrata vlage na strani otpadnog zraka:

$\psi_2 = \frac{9.3-9.2}{9.3-9.9} = -0{,}166$ za prvu točku mjerenja

$\psi_2 = \frac{9.2-9.2}{9.2-9.7} = 0$ za drugu točku mjerenja

$\psi_2 = \frac{9.2-9.2}{9.2-9.6} = 0$ za treću točku mjerenja

5.5. Zaključni osvrt na rezultate mjerenja

U gore prikazanim rezultatima mjerenjima moguće je uočiti određene anomalije u izmjerenim vrijednostima. Anomalije u izmjerenim vrijednostima mogu biti uzrokovane pogreškom pri radu samih mjernih senzora, ali isto tako mogu biti rezultat rada algoritma koji upravlja radom uređaja na koji nije moguće utjecati. S obzirom da algoritam kontinuirano upravlja s radom uređaja, pri čemu istovremeno regulira više radnih parametara, postoji mogućnost da su određena očitanja radnih parametara izvršena u trenutku promjene režima rada uređaja, kao na primjer promjena brzine okretanja rotora izmjenjivača ili čak njegovo potpuno zaustavljanje. Ovo proizlazi iz toga da uređaj osim povrata topline regulira i relativnu vlažnost zraka u prostoru, i to obavlja prema svome upravljačkom algoritmu, te u isto vrijeme regulira vrtnju rotora izmjenjivača kao i brzine rada ventilatora na dobavnoj i odvodnoj strani uređaja.

Konačno, prikazana mjerenja su inicijalna mjerenja, te predstavljaju polaznu točku za daljnje analize rada uređaja za povrat toplinske energije.

6. Zaključak

Ovim završnim radom prikazan je način odabira uređaja za regeneraciju toplinske energije zraka za potrebe ventilacije uredskog kontejnera koji simulira objekt nulte potrošnje energije. S obzirom na sve strože mjere za uštedu energije koje se donose na nivou Europske unije, a i na nivou Republike Hrvatske, ovakav sustav će u budućnosti biti obaveza za sve novo izgrađene objekte te objekte na kojima je izvedena energetska obnova.

Prikazan je postupak izbora uređaja ovisno o količini zraka koji je potreban za odabrani prostor. Odabrani uređaj predviđen za ugradnju u manje stambene objekte, pri čemu se jedan uređaj odabire za jednu stambenu cjelinu. Za prikaz odabira uređaja korišten je postupak odabira prema preporukama proizvođača.

U praktičnom dijelu rada prikazan je postupak izrade projektnog rješenja za ventilaciju uredskog kontejnera, montaža sustava ventilacije u uredskom kontejneru te mjerenje radnih parametara uređaja. Montaža je prikazana kroz nekoliko koraka, kako je bila i praktično izvršena. Kako bi se mogli mjeriti vrijednosti temperature i relativne vlažnosti zraka u opticaju, u sustav razvoda zraka postavljeni su mjerni osjetnici. Na spoju uređaja na električnu mrežu postavljen je mjerač potrošnje električne energije kako bi se mogla pratiti stvarno dovedena količina energije za rad sustava.

Nakon završene montaže uređaja izvršena su i probna mjerenja rada uređaja. Uslijed neprirodno male razlike temperature između svježeg vanjskog zraka i ohlađenog zraka unutar uredskog kontejnera (za odabrani period godine), mjerenja nisu mogla kvalitetno prikazati radne parametre i učinkovitost rada instaliranog sustava. Unatoč tome određene vrijednosti koeficijenta povrata topline na strani svježeg zraka dosegli su vrijednosti između 0,045 (4,5 %) i 0,638 (63,8 %). Na strani otpadnog zraka vrijednosti istih koeficijenata kretale su se između 0,3 (30 %) i 0,679 (67,9 %). S povećanjem temperaturne razlike između vanjskog i unutarnjeg zraka povećavala se vrijednost koeficijente povrata topline.

Uočeno je da je vrijednost koeficijenta povrata vlage ovisila o količini vlage u vanjskom i unutarnjem prostoru, pa su se u pojedinim točkama mjerenja dobile vrijednost koeficijenta od -3.5 pa do 2, ovisno da li je zrak primao ili otpuštao višak vlage.

Prateći potrošnju uređaja moglo se vidjeti da su podaci o potrošnji električne energije u skladu s tehničkim podacima koje je naveo proizvođač (oko 50 Wh tijekom jednosatnog rada uređaja).

Male razlike koje su nastale u izmjerenoj potrošnji mogu se pripisati promjenama vrijednosti temperature i relativne vlažnosti svježeg i otpadnog zraka.

Ekonomska opravdanost ugradnje ovakvih sustava nije bila predmetom analize ovog rada.

Važno je napomenuti da osim ekonomskih prednosti primjena rekuperatora i regeneratora toplinske energije povećava i kvaliteta života s obzirom da većina uređaja ima filtere zraka koji povećavaju kvalitetu zraka u stambenim prostorima.

Konačno, izrada energetski učinkovitog sustava ventilacije u uredskom kontejneru, koji je ujedno i vanjski laboratorij te buduća nZEB građevina, omogućiti će daljnje proučavanje procesa rekuperacije i regeneracije toplinske energije iz zraka. Također, sustav će omogućiti studentima stjecanje znanja radom na suvremenom uređaju koji će uskoro biti sastavni dio energetskih sustava novoizgrađenih ili renoviranih građevina. Proučavanje procesa regeneracije toplinske energije zraka biti će ostvareno u realnim uvjetima, što daje dodatnu vrijednost izrađenom sustavu.

Literatura

1. EU – 2009/125/EZ: Direktiva europskog parlamenta i vijeća, EU, 2009.
2. NN 25/20: Zakon o energetskoj učinkovitosti, Zagreb, 2020.
3. NN 125/19: Zakon o gradnji, Zagreb 2019.
4. Hoval d.o.o.: *CEE Heating Catalogue*, 11.Comfort_ventilatiom, 2020.
5. Hoval d.o.o.: Prezentacija HomeVent uređaja, Zagreb 2018.
6. Plate and rotation Heat Exchanger, preuzeto sa: https://www.hoval-energyrecovery.com/en/products-and-solutions/gotthard/at-a-glance (pristup ostvaren 10.08.2020.)
7. Heat recovery ventilation guide for houses, preuzeto sa: http://energysavenewwest.ca/wp-content/uploads/2016/09/12-HRV-Guide-for-Houses-%20Compiled_web.pdf, (pristup ostvaren 10.08.2020.)
8. Rekuperacija zraka u boravišnom prostoru, preuzeto sa: https://mcsolar.hr/rekuperacija-zraka/, (pristup ostvaren 10.08.2020.)
9. Cetinić I.: Analiza procesa pripreme zraka primjenom sustava povrata energije iz istrošenog-otpadnog zraka, Stručno usavršavanje ovlaštenih arhitekata i ovlaštenih inženjera, Zagreb 2008.
10. Rekuperator zraka, preuzeto sa: https://www.arijanova.hr/novosti/101/rekuperator-zraka/ (pristup ostvaren 11.08.2020.)
11. GVIK SUSTAV klima komora, preuzeto sa: https://docplayer.rs/142249195-Stru%C4%8Dno-usavr%C5%A1avanje.html (pristup ostvaren 11.08.2020.)
12. Regeneration – Recuperation, preuzeto sa: http://www.klingenburg-usa.com/knowledge/regeneration-recuperation/ (pristup ostvaren 11.08.2020.)
13. Letić K. – Osobna arhiva fotografija i nacrta, Split 2020.
14. Jankoski Z.: Predavanja – Grijanje i klimatizacija, Split, 2018.
15. Kova d.o.o.: Katalog proizvoda, Velika Gorica, 2020.
16. Klimaoprema d.o.o.: *Katalog proizvoda - ventilacijske rešetke*, Zagreb, 2020.
17. AFS flexible duct c.o.: Product catalogue, Turkey, 2020.
18. Sensiron - Digital humidity sensors, preuzeto sa: https://www.sensirion.com/en/environmental-sensors/humidity-sensors/ (pristup ostvaren 12.08.2020.)
19. Haco, spol.s.r.o.: Product catalogue, Liberec, Czech Republic, 2020.