



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsanduse ja inseneeria instituut

Indrek Haak

**SOOJUSPUMBA SISEMISE SOOJUSKANDJA KOGUSE
MÕJU SEADME TÖÖPARAMEETRITELE**

THE INFLUENCE OF THE AMOUNT OF THE HEAT PUMP'S
INTERNAL HEAT CARRIER ON THE OPERATING
PARAMETERS OF THE DEVICE

Bakalaureusetöö

Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendajad: Külli Hovi, MSc
Mart Hovi, PhD

Tartu 2024

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 56, Tartu 51014			
Autor: Indrek Haak		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia (384)	
Pealkiri: Soojuspumba sisemise soojuskandja koguse mõju seadme tööparameetritele			
Lehekülgi: 42	Jooniseid: 13	Tabeleid: 10	Lisasid: 0
<p>Osakond/ Õppetool: Energiakasutuse õppetool ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4. Loodusteadused ja tehnika 4.17. Energeetikaalased uuringud T140 Energeetika Juhendaja(d): õpetaja Külli Hovi, MSc, lektor Mart Hovi, PhD. Kaitsmiskoht ja -aasta: Eesti Maaülikool, 2024</p>			
<p>Käesolev bakalaureusetöö keskendub õhk-õhk tüüpi soojuspumba uurimisele, millest on puudu teadmata kogus soojuskandjat. Töö eesmärgiks on välja selgitada puuduolev soojuskandja hulk, soojuskandja seejärel järk-järgult asendada ning samal ajal mõõta labori tingimustes olulisi seadme tööparameetreid. Uuritavateks parameetriteks olid tarbimisvõimsus, soojuspumba välisosa sisend- ja väljundõhuvoolu temperatuurid ning õhuvoolu kiirus. Uurimustöö on jagatud kolmeks osaks.</p> <p>Esimeses osas antakse kirjandusel baseeruv ülevaade õhk-õhk tüüpi soojuspumpade toimimise kohta ja kirjeldatakse seadme põhikomponente. Külmutusagensid on väga oluliseks osaks soojuspumba töös, siis antakse ka ülevaade nende ainete ajaloole ning neile esitatavatele nõuetele. Töö teine osa keskendub katses kasutatud seadmete ning mõõteriistade kirjeldamisele. Valitakse välja katsemeetod ja põhjendatakse valikut.</p> <p>Kolmas osa on katsete tulemuste avaldamine ning arutelu. Katsetest selgub, et katseobjektiks oleva soojuspumba tarbimisvõimsus ning seadme välisosa läbiva õhuvoolu kiirus ei sõltunud seadmes olevast soojuskandja kogusest. Küll aga avaldas soojuskandja lisamine olulist mõju soojuspumba välisosa läbiva õhuvoolu temperatuuride muutusele. Kuna seadet läbiva õhu mass ja tarbimisvõimsus ei muutunud, siis viitab õhuvoolu temperatuuride vahe kasv ka tõhususteguri ja soojushulga ülekande paranemisele.</p>			
Märksõnad: soojuspump, tööparameetrid, tarbimisvõimsus, tõhusustegur, soojushulk			

Estonian University of Life Sciences		Abstract of Bachelor's Thesis	
Kreutzwaldi 56, Tartu 51014			
Author: Indrek Haak		Speciality: Engineering and Technology	
Title: The influence of the amount of the heat pump's internal heat carrier on the operating parameters of the device			
Pages: 42	Figures: 13	Tables: 10	Appendixes: 0
Department/Chair: Chair of Energy Application Engineering Field of research and (CERC S) code: 4. Natural Sciences and Engineering 4.17. Energetic Research T140 Energy research Supervisors: teacher Külli Hovi, MSc, lecturer Mart Hovi, PhD Place and date: Estonian University of Life Sciences, 2024			
<p>This bachelor's thesis focuses on the research of an air-to-air type heat pump, which lacks an unknown amount of heat carrier. The aim of the work is to find out the missing amount of heat carrier, then to gradually replace the heat carrier, and at the same time to measure important operating parameters of the device under laboratory conditions. The parameters to be studied were the power consumption, the temperatures of the input and output air flow of the heat pump's outer part, and the air flow speed. The research is divided into three parts.</p> <p>The first part provides a literature-based overview of the operation of air-to-air heat pumps and describes the main components of the device. As the refrigerants are a very important part of heat pump operation, then an overview of the history of these substances and the requirements for them is also given. The second part of the work focuses on describing the equipment and measuring instruments used in the experiment. The test method is selected and the choice is justified.</p> <p>The third part is the publication of the results of the experiments and the discussion. The tests show that the power consumption of the test subject heat pump and the speed of the air flow passing through the outer part of the device did not depend on the amount of heat carrier in the device. However, the addition of the heat carrier had a significant effect on</p>			

the temperature change of the air flow passing through the outer part of the heat pump. Since the mass of the air passing through the device and the power consumption did not change, the increase in the air flow temperature difference also indicates an improvement in the coefficient of performance and heating capacity .

Keywords: heat pump, operating parameters, power consumption, heating capacity, coefficient of performance (CoP),

SISUKORD

LÜHENDID JA TÄHISED	7
SISSEJUHATUS	8
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	9
1.1. Soojuspumba tööpõhimõte ja rakendused	9
1.2. Soojuspumpades kasutatavad külmutusagensid	11
1.2.1. Külmutusagenside ajalugu.....	11
1.2.2. Külmaagensidele esitavad nõuded	12
1.2.3. Külmaagenside tähistus	13
1.2.4. Soojuskandja R410a	14
2. SEADMED JA METOODIKA	15
2.1. Katse kirjeldus	15
2.2. Katseseade – Fujitsu AOYG14LTCN/ ASYG14LTCB.....	15
2.3. Seadmes oleva soojuskandja koguse väljaselgitamine.....	17
2.4. Katse meetodite standardid.....	19
2.5. Meetodi valik antud katses	21
2.6. Katses kasutatavad mõõteriistad.....	21
2.6.1. Orno OR-WAT-435(GS).....	21
2.6.2. DHT22– temperatuuri andur	23
2.6.3. ESP8266 – mikrokontroller	23
2.6.4. Mehaaniline taimer Brennenstuhl 16A.....	24
2.6.4. Kaal DS-450	24
2.6.5. Õhuvoolu mõõtmise seadeldis.....	25
2.7. Katse käik	27
2.8. Soojuspumba täitmine soojuskandjaga R410a	29

3. TULEMUSED JA ARUTELU	31
3.1. Katsealuse soojuspumba temperatuuride mõõtetulemused	31
3.2. Tarbimisvõimuse mõõtmised	33
3.3. Õhuvoolu mõõtmise tulemused	34
3.4. Tulemuste analüüs	34
KOKKUVÕTE	36
SUMMARY	38
KASUTATUD KIRJANDUS	40

LÜHENDID JA TÄHISED

a	– etaani baasil freoon
b	– broomiaatomid
c	– aine erisoojus, $J/(kg \cdot ^\circ C)$
C_2H_6	– etaan
CFC	– klorofluorosüsiniik
CoP	– tõhusustegur (Coefficient of Performance)
GWP	– globaalse soojenemise potentsiaal
HCFC	– osaliselt halogeenitud klorofluorosüsiniik
HFC	– fluoroüsiniik
HFC-32	– difluormetaan
HFC-125	– pentafluoroetaan
IP	– kaitseaste (Ingress Protection)
LCD	– vedelkristallekraan (Liquid Crystal Display)
m	– keha ehk õhu mass, kg
N	– energia tarbimine, J
p	– rõhk, bar
Q	– soojushulk, J
R	– freoonid
RC-filter	– takisti-kondensaatori filter
t	– temperatuur, $^\circ C$
Δt	– temperatuuri muut, $^\circ C$

SISSEJUHATUS

Soojuspumbad on väga levinud seadmed, mis aitavad reguleerida siseruumide temperatuuri nii kodudes, koolides kui ka töökohtades. Need seadmed pakuvad tõhusat lahendust hoonete sisekliima kujundamisel, kuid efektiivsus on seotud mitmete teguritega, millest üks on soojuspumba sees olev soojuskandja kogus. Käesolev bakalaureusetöö keskendub õhk-õhk tüüpi soojuspumba uurimisele, millest on puudu teadmata kogus soojuskandjat. Töö eesmärgiks on välja selgitada puuduolev külmaagensi kogus, see järk-järgult asendada ning samal ajal mõõta labori tingimustes selle töö raames mõõdetavaid seadme tööparameetreid. Selle lähenemisviisiga loodetakse paremini mõista soojuspumpade toimimist ning tegureid, mis mõjutavad nende efektiivsust, et aidata kaasa antud seadmete optimaalsele kasutamisele.

Eesmärgi täitmiseks kasutatakse bakalaureuse astmel omandatud teadmisi, et kaudselt määrata puuduolev soojuskandja kogus. Samuti valitakse ja luuakse mõõtevahendid, et teada saada katseobjekti poolt tarbitud elektrienergia kogus, seadme välisosa poolt muudetud õhuvoolu temperatuur ning jälgitakse õhuvoolu kiiruse muutusi.

Katsed viiakse läbi Eesti Maaülikooli Metsanduse ja inseneeria instituudis katlalaboris ning kasutades ülikooli ressursse ja katseseadmeid. Katsed toimusid jaanuarist märtsini 2024.

Töö esimese osas antakse kirjanduse ülevaade õhk-õhk soojuspumpadest ja kasutatavatest külmaagenssidest, teises osas kirjeldatakse katse käiku, meetodikat ning kasutatud vahendeid. Viimases osas analüüsitakse mõõteandmeid ning arutletakse tulemuste üle.

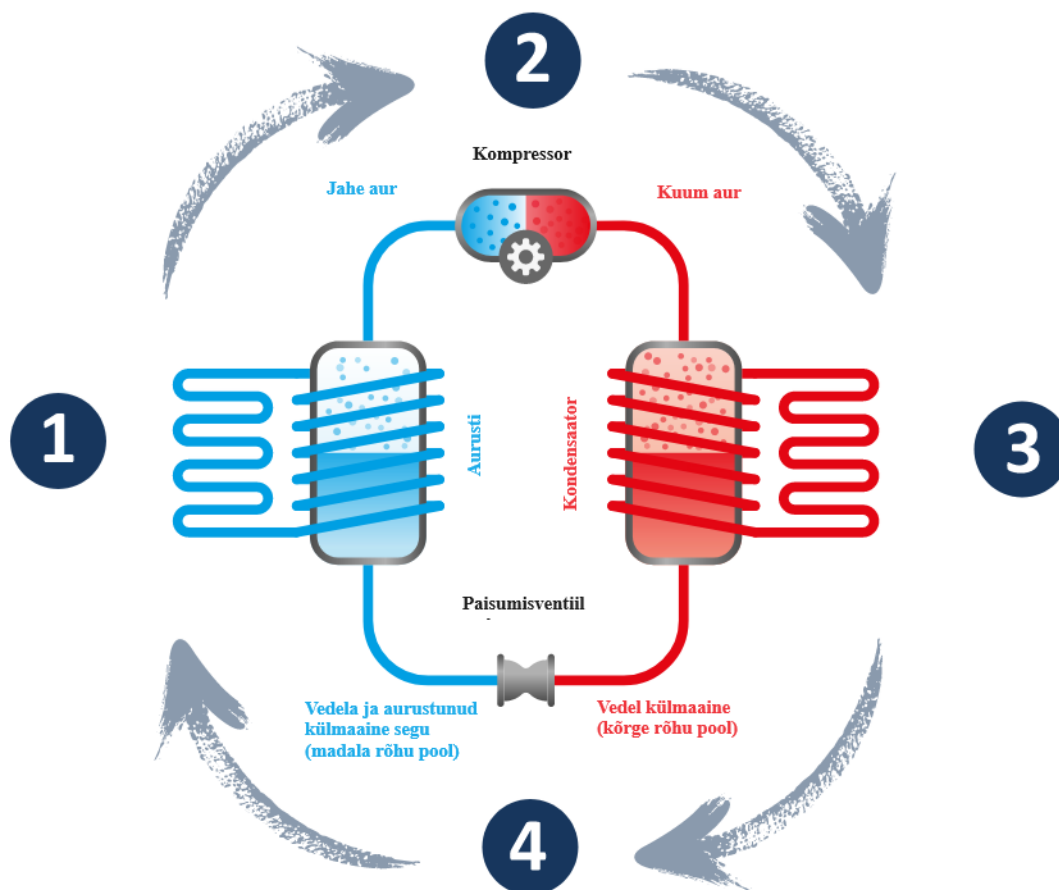
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Soojuspumba tööpõhimõte ja rakendused

Soojuspump on seade, mis võimaldab kanda soojusenergiat üle madalama temperatuuriga keskkonnast kõrgema temperatuuriga keskkonda, kasutades selleks soojuskandjat ehk külmaagensi. Soojuspumpade rakendusvaldkondadeks võime pidada kütte- ja ventilatsioonisüsteeme. Kütteprotsessides saadakse üle kantav energia välisest õhust, veekogudest, puuraukudest, heiteõhust ja maa-alustest allikatest. [1]

Peamine energiaressurss, mis meie maad, veekogusid ja atmosfääri soojendab on päike. Soojuspump võimaldab meil seda taaskasutatavat energiat rakendada oma küttevajaduste saavutamiseks keskkonda liigselt saastamata ning maavarasid mõislikult kasutades, tänu millele klassifitseerub soojuspump taaskasutatavaks energiaallikaks. [2]

Kütmiserežiimis toimib soojuspump sarnaselt külmutuskapile, kuid vastupidises suunas. Külmkapis suunatakse soojus kapi seest välja, soojuspump aga toob õhu, maa või veekogudes sisalduva soojusenergia majapidamisse sisse. Seda on võimalik saavutada läbi külmaagensi transpordi ja olekute muutuse – ühes süsteemi osas on külmaagens vedelas ning teises gaasilises olekus. Soojuskandja transpordi ja olekute muutuste saavutamiseks peab soojuspump koosnema neljast peamisest osast: aurustist, kondensaatorist, kompressorist ja paisuventiilist (joonis 1). Kompressorit ja paisuventiili läheb vaja vastavalt külmaagensi rõhu tõstmiseks ja langetamiseks. Kõik pumba osad on omavahel ühendatud suletud torustiksüsteemiga, mis on täidetud vastava koguse külmaagensiga. Soojuskandjal on sõltuvalt rõhust erinev keemistemperatuur – mida suurem rõhk, seda kõrgem keemistemperatuur. Külmaagensidel on veega võrreldes väga madalad keemispunktid. Kui vee keemispunkt standardrõhu juures on 100 °C, siis soojuskandjal on see -40 °C. See võimaldab meil kasutada neid aineid ka madalate temperatuuriga energiaallikatelt soojuse ülekandmiseks. [2]



Joonis 1. Aurukompressor-soojuspumba põhimõtteskeem [3].

Aurustis hoitakse soojuskandjat temperatuuril, mis on madalam, kui soojusallika temperatuur. See võimaldab soojuse ülekande toimumise soojusallikalt külmutusagensile, mis muutub tänu temperatuuri tõusule auruks ning liigub kompressorisse, kus see kokku surutakse. Kompressioon tulemusena saame suurema rõhu ja temperatuuriga auru. Kondensaatorisse jõudes külmutusagens kondenseerub ning vabanev energia kasutatakse tarbija või küttesüsteemi soojendamiseks. Saadud kondensaadi jahutamiseks kasutatakse paisumisventiili, mille tulemusena soojuskandja paisub ehk saame vedela ja aurustunud soojuskandja segu. Sellisel kujul on külmutusagensi temperatuur madalam, kui soojusallika oma ning ring saab uuesti aurustist alguse. [4]

1.2. Soojuspumpades kasutatavad külmutusagensid

1.2.1. Külmutusagenside ajalugu

Külmutustehnoloogia areng sai alguse 19. sajandil tööstusrevolutsiooni ajal, mil inimesed hakkasid mõistma termodünaamika seaduseid, enne seda kasutati toiduainete säilitamiseks looduslikku jahedat õhku ja jääd. 1834. aastal taotles ameeriklane Jacob Perkins patendi külmutusüsteemile, mis kasutas etüületrit suletud ringis. Patent hõlmab kõiki elemente, mida kasutatakse ka tänapäevases aurukompressioonisüsteemis. See märgib ühtlasi hetke, millest alates otsitakse ideaalset soojuskandjat ning need otsingud kestavad ka tänaseni. [5]

19. sajandi teisel poolel järgnes etüüleetri kasutamisele metüüleeter ning seejärel ammoniaak. Ammoniaak oli mitmes mõistes väga hea soojuskandja, kuid oma mürgisuse tõttu pakkusid alternatiivsed lahendused sellele alati konkurentsi. Süsinikdioksiid tundus hea alternatiivina ammoniaagile just oma väga madala toksilisuse poolest, kuid vajab toimimiseks väga kõrget rõhku ja omas liiga madalat kriitilist temperatuuri. Veel üks aine, mida veel enne 19. sajandi lõppu katsetati, oli metüülkloriid. Tegu on lõhnatu, kuid mürgise ja süttiva gaasiga, mis põhjustas mitmeid väga tõsiseid õnnetusi. [5]

20. sajandil oli külmutustehnoloogia tööstuslikul tasemel juba laialdaselt kasutusel, kuid kodustes tingimustes suutsid seda vaid väga rikkad lubada. Selleks, et pakkuda külmutussüsteeme laialdaselt kodukasutusse, oli vaja leida soojuskandja, mis võimaldaks toota odavamaid, ohutumaid ning hooldust mitte vajavaid seadmeid. Sellise külmaagensi leidis 1926. aastal Thomas Midgely. Tegu oli esimese CFC-tüüpi soojuskandjaga ja sai lühendiks R-12. Aastaks 1963 oli CFC-külmutusagensid nagu CFC-11, CFC-12, CFC-113, CFC-114 ja HCFC⁴-22 98% külmutusseadmete poolt kasutatavateks aineteks. [4] [5]

1970. aastate keskel püstitasid teadlased hüpoteesi, et CFC-ühendid viivad osoonikihi hävinemiseni. Algselt seda ei usutud, kuid 1985. aastal tõdeti, et Antarktika kohal toimub osoonikihi järkjärguline häving. See viis aastal 1987. ühe ainulaadse rahvusvahelise kokkuleppe sõlmimiseni, mida teatakse kui Montreali protokoll. See leping sätestab, et CFC tüüpi soojuskandjate kasutamist tuleb vähendada 50% järgneva kümne aasta jooksul. Algas otsing uutele rangemate nõuetega külmaagensidele. [5]

Tänapäeval on soojuskandjate valik väga suur, kuid ideaalset lahendust pole endiselt leitud.

Vanemad lahendused keelatakse järkjärgult ära ning asendatakse keskkonna sõbralikumate variantidega. Kui varasemalt oli probleemiks osoonikihi hõrenemine siis nüüd on põhiliseks ohuks kliimasoojenemine. Külmutusagensigruppide karakteristikud on esitletud tabelis 1. [6]

Tabel 1. Erinevate külmutusagensigruppide karakteristikud [6]

Aasta	1930-1990	1990-ndad	2000-ndad	2010-ndad	2010-ndad
Külmutusagensi tüüp	CFCs	HCFCs	HFCs	HFCs	Looduslikud külmutusagensid
Osoonikihti hõrendav	Jah	Jah	Ei	Ei	Ei
Kliimat soojendav	Jah	Jah	Jah	Vähesel määral	Ei
GWP	4750-14,400	400-1800	1-300	0-12	0
Süttivus	Mitte süttiv	Mitte süttiv	Mitte süttiv	Nõrgalt süttiv	Süttiv
Eluiga atmosfääris	45-1700 aastat	1-20 aastat	1-300 aastat	67 – 10,5 päeva [9]	-
Külmutusagenside näited	R11, R12, R115	R22, R141b, R142b	R245fa, R32, R134a, R161, R152a, R4707C,	R1234yf, R1234ze, R1243zf	R290, R600, R600a

Kliimasoojenemise efekti hinnatakse GWP (*Global Warming Potensial*) alusel, mis näitab teatud kasvuhoonegaasi poolt seotava soojuse hulka kindla ajalise intervalli jooksul ning referentsväärtusena on kasutatud süsinikdioksiidi globaalse soojenemise väärtust, mis on 1 [7].

1.2.2. Külmaagensidele esitavad nõuded

Külmaagensi kasutamiseks peavad sellel olema teatud termodünaamilised omadused. Selleks, et agens välitemperatuuride juures ei külmuks, peab aine omama madalat külmumistemperatuuri. Aurustumissoojus peab vastupidiselt olema jällegi suur, et hoida seadme läbivool väiksena. Kriitiline temperatuur peab ainel olema kõrge, et tarbijat vajadusel suurema energiakogusega varustada. Avarii korral võib seadmesse tungida välisõhk. Selle vältimiseks on oluline saavutada piisavalt suur külmaagensi aurustumisrõhk, mis ületaks atmosfääri normaalarõhku. Mida madalam on kondenseerumisrõhk agensil, seda väiksemat mehaanilist tugevust saab seadme elementidel kasutada. [4]

Keemiliste ja füüsikaliste omaduste juures tuleb tähele panna, et soojuskandja ei tohi juhtida elektrit, kuna suletud kompressoris jahutab agensi aur elektrimootorit. Soojusvaheti mõõtmed määrab aine soojusülekandevõime ehk mida paremate omadustega see on, seda väiksemate gabariitidega saavad olla soojusvahetid. Minimaalse hüdraulilise takistuse saavutamiseks on vaja, et soojuskandja omaks madalat viskoossust. Külmutusagens peab olema piisavalt lahustuv õlis, kuid võimalikult halvasti lahustuv vees, kuna vee jäätumisel tekib düüside külmumise oht. Soojuskandja ei tohi reageerida süsteemi osadega ega vananeda. [4]

Ohutusnõuetest lähtuvalt ei tohi külmutusagens põleda, pahvatada ega neid protsesse soodustada. Samamoodi on oluline vältida organismidele toksilisi ja ärritavaid toimeid. Aine süvenevate kliimaprobleemide tõttu peab olema välistatud külmutusagenside mõju kliimasoojenemisele ja osoonikihi hõrenemisele.[4]

1.2.3. Külmaagenside tähistus

Külmaagensidena kasutatakse freoone, mis koosnevad süsivesinikest ning mille üldvalem on:



Freoonid on värvitud ja lõhnatud vedelikud, mida rahvusvaheliselt tähistatakse märgiga „R“, sellele järgneb tavaliselt kahe- või kolmekohaline number. Vastavalt sellele, kas tegu on kahe- või kolmekohalise numbriga, siis esimene või esimesed kaks numbrit tähistavad süsivesinikku, millest aine saadud on. Järgnev number tähistab fluoriaatomite arvu molekulis. Lisaks eelnevale võib valemi lõpp sisaldada ka tähte „B“, mis viitab broomiaatomite olemasolule, kui freooni molekul sisaldab vesikuaatomeid, siis need on näidatud valemi kümnenndkohtadel. Tähise lõpus olev väiketäht „a“ näitab, et tegu on etaani (C₂H₆) baasil toodetud freooniga, mis võib sisaldada ebasümmeetrilisse struktuuriga molekule. [4]

1.2.4. Soojuskandja R410a

Antud uurimustöö katseobjekt kasutab oma eesmärgi täitmiseks soojuskandjat R410a. Tegu on osoonikihti mitte lõhkuva võrdsetest osadest koosneva seguga kahest HFC tüüpi külmaagensist, milleks on HFC-32 ning HFC-125. Eelmainitud HFC'de koostis on välja toodud tabelis 2. [8]

Tabel 2. HFC-32 ning HFC-125 keemilised nimed ning koostis [8]

Komponent	Keemiline nimetus	Valem	CAS number	Molekulmass
HCF-32	Difluormetaan	CF ₂ H ₂	75-10-5	52,0
HCF-125	Pentafluoroetaan	CF ₃ CHF ₂	354-33-6	120,0

R410a loodi kasutamiseks traditsiooniliselt HCFC-22 (R22) asemel. Segu sobib kasutamiseks laialdaste külmutustasemetega saavutamiseks. Siiski ei ole võimalik R410a asendada HCFC-22 jaoks loodud seadmetes, kuna vajab töötamiseks oluliselt kõrgemat survet, mis tähendab, et vajab just selle aine jaoks loodud seadmeid. [8]

2. SEADMED JA METOODIKA

2.1. Katse kirjeldus

Katse objektis on õhk-õhk tüüpi soojuspump, millest on valede transpordimeetmete tõttu kadunud teadmata hulk soojuskandjat. Esiteks tuleb kaudsete meetmete kaudu teada saada umbkaudne külmaagensi kogus, mis seadmest puudu on ning seejärel hakatakse seda järkjärgult juurde lisama, samal ajal mõõtes pumba tehnilisi näitajaid.

Katse eesmärk: Selgitada välja soojuspumba puuduolev soojuskandja kogus ja jälgida tööparameetrite muutusi selle lisades.

Katse hüpotees: Tööparameetrid paranevad soojuskandja lisamisel.

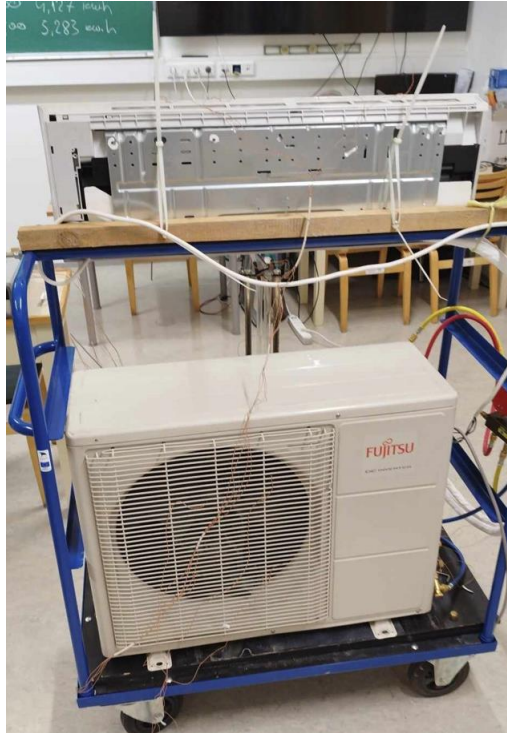
Katse kirjeldus: Mõõdame katseobjekti poolt tarbitud elektrienergia kogust ning õhuvoolu temperatuuri soojuspumba välisossa sisenemisel ja sealt väljumisel.

Katse toimumiskoht: Eesti Maaülikooli Metsanduse ja inseneeria instituudi katlalabor.

Katse toimumise aeg: Jaanuar – märts 2024.

2.2. Katseseade – Fujitsu AOYG14LTCN/ ASYG14LTCB

Katse viime läbi Fujitsu AOYG14LTCN/ASYG14LTCB õhk-õhk tüüpi soojuspumbaga, mille nii välis- kui siseosa on kinnitatud ratastega raamile ning asuvad mõlemad laboritingimuses siseruumis. Seadme pilti on näha jooniselt 2 ning tehnilisi parameetreid tabelilt 3. Masina välisosa ja siseosa on omavahel ühendatud kahe meetri pikkuste torudega.



Joonis 2. Katseseadme välisosa (käru alumisel tasandil) ning seadme siseosa (üleval).

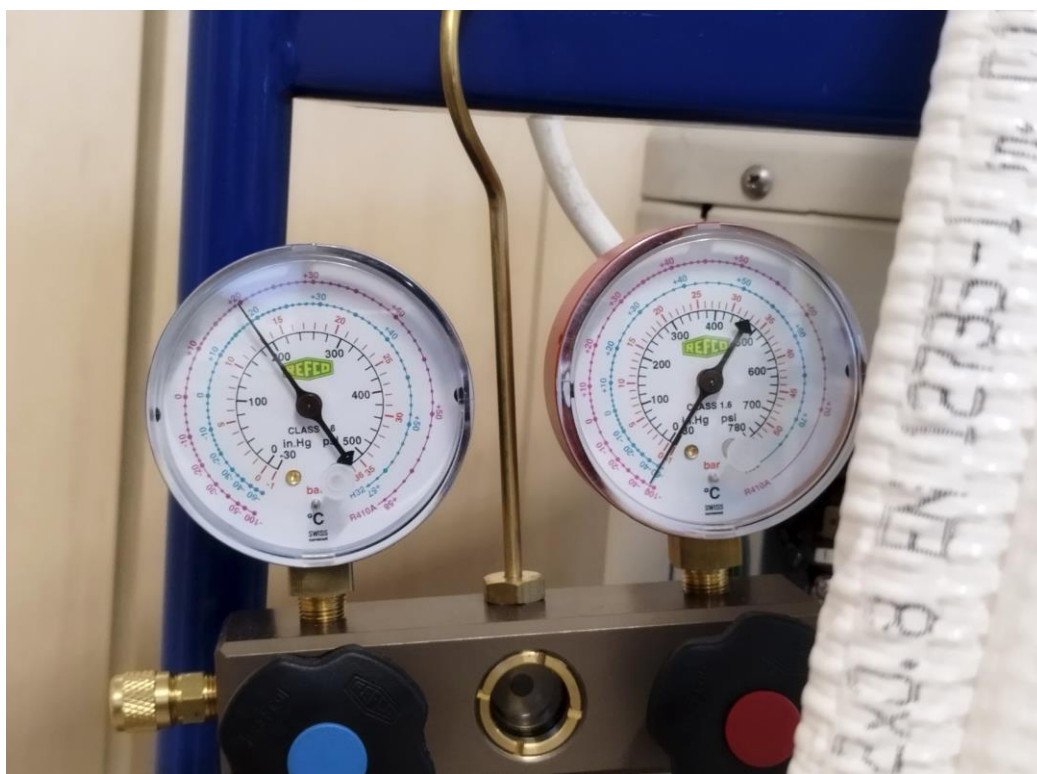
Tabel 3. Fujitsu AOYG14LTCN/ASYG14LTCB tehnilised näitajad [10]

Elektritoide	230 V; 50 Hz
Tarbimisvõimsus jahutusel	1,16 kW
Tarbimisvõimsus kütteil	1,38 kW
Jahutusvõimsus (välitemperatuuril 35°C)	4,2 kW
Soojendusvõimsus (välitemperatuuril 7°C)	5,4 kW
Siseosa mõõdud (laius, sügavus, kõrgus)	870 mm, 185 mm, 282 mm
Välisosa mõõdud (laius, sügavus, kõrgus)	790 mm, 290 mm, 620 mm
Siseosa kaal	9,5 kg
Välisosa kaal	40 kg
Soojuskandja	R410a
Soojuskandja soovituslik kogus	1,25 kg
GWP	1975

Eelnevast tabelist selgub, et tarbimisvõimsus on jahutamisel ja kütteil erineva väärtusega ning neid väärtusi tuleb testida ka labori tingimustes oleva seadmega. Samuti saab siit välja lugeda, et katses kasutatav soojuspump sisaldab soojuskandjat R410a, mille normaalkogus seadmes on 1,25 kg. Katse alguses seadmes oleva soojuskandja kogus oli tundmatu väärtus.

2.3. Seadmes oleva soojuskandja koguse väljaselgitamine

On teada, et selle seadme transportimisel on läinud kaduma tundmatu kogus soojuskandjat ning töö eesmärgi saavutamiseks on vaja see kogus kindlaks määrata. Katseseade on ühendatud manomeetriga REFCO M2-555-DS-R32/R410a (joonis 3). Mõõteriista skaalale on lisaks rõhku näitavatele väärtusele lisatud ka R32 ja R410a soojuskandjatele omaste temperatuuride väärtused.



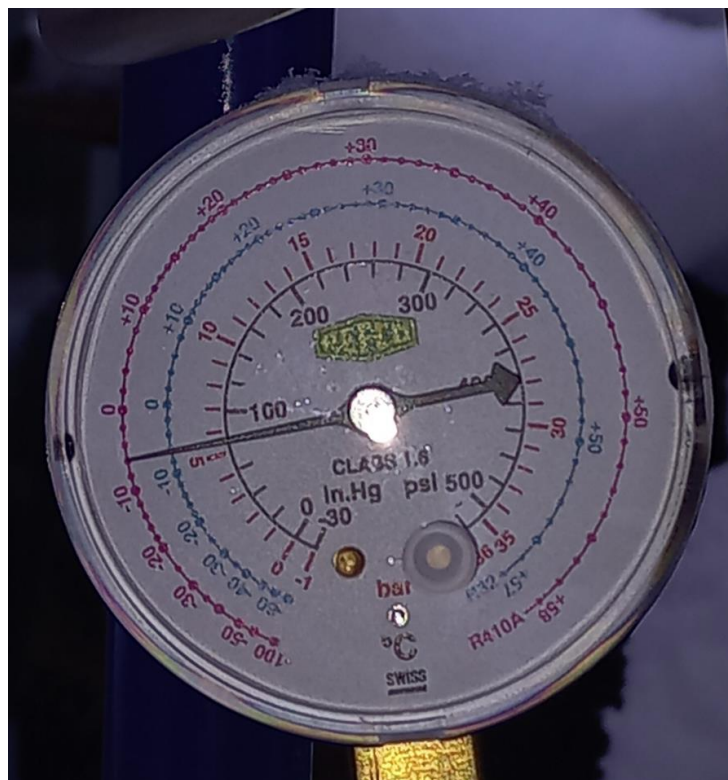
Joonis 3. Katseseadmega ühendatud manomeeter (vasakpoolne).

Nagu joonisel 3 näha võib, näitab manomeeter seadmes olevaks rõhuks natuke üle 13 baari, mis omakorda vastab 19,5 °C. Toatemperatuur oli pildi tegemise momendil 22,5 kraadi ehk ühtlasi olid ka seadme osad selle temperatuuriga, kuna soojuspump oli piisavalt kaua samas ruumis seisnud. Vaadates R410a küllastusomaduste tabelit (tabel 4.), näeme et vastava toatemperatuuri juures peaks manomeeter näitama 14,4 baari.

Tabel 4. R410a küllastusomaduste tabel ilma atmosfääri rõhuta (-1 bar) [11]

t, °C	p, bar	t, °C	p, bar	t, °C	p, bar	t, °C	p, bar	t, °C	p, bar	t, °C	p, bar
-30,0	1,70	-20,0	3,00	-10,0	4,73	0,0	6,98	10,0	9,84	20,0	13,41
-29,0	1,82	-19,0	3,15	-9,0	4,93	1,0	7,23	11,0	10,16	21,0	13,81
-28,0	1,93	-18,0	3,31	-8,0	5,14	2,0	7,50	12,0	10,49	22,0	14,22
-27,0	2,05	-17,0	3,47	-7,0	5,35	3,0	7,77	13,0	10,83	22,5	14,43
-26,0	2,18	-16,0	3,64	-6,0	5,56	4,0	8,04	14,0	11,18	23,0	14,64
-25,0	2,30	-15,0	3,81	-5,0	5,78	5,0	8,32	15,0	11,53	24,0	15,07
-24,0	2,44	-14,0	3,98	-4,0	6,01	6,0	8,61	16,0	11,89	25,0	15,50
-23,0	2,57	-13,0	4,16	-3,0	6,24	7,0	8,91	17,0	12,26	26,0	15,95
-22,0	2,71	-12,0	4,35	-2,0	6,48	8,0	9,21	18,0	12,64	27,0	16,40
-21,0	2,85	-11,0	4,54	-1,0	6,73	9,0	9,52	19,0	13,02	28,0	16,86

Seda teooriat testiti ka soojuspumba õue viimisega, kus olid miinuskraadid (joonis 4). Ka seal näitas soojuspumbale kinnitatud mõõteriist mõned kraadid madalamat temperatuuri, kui kõrval olev termomeeter. Samuti uuriti ka soojuspumpade hooldusega tegelevalt tehnikult, kuidas nemad lõputöös kasutatava seadme külmaagensi taset hindaksid. Tehniku sõnul peaks manomeeter maksimaalsel jahutus režiimil näitama seitse baari rõhku – esialgsete katsete ajal oli antud näitajaks keskmiselt 6,2 baari.

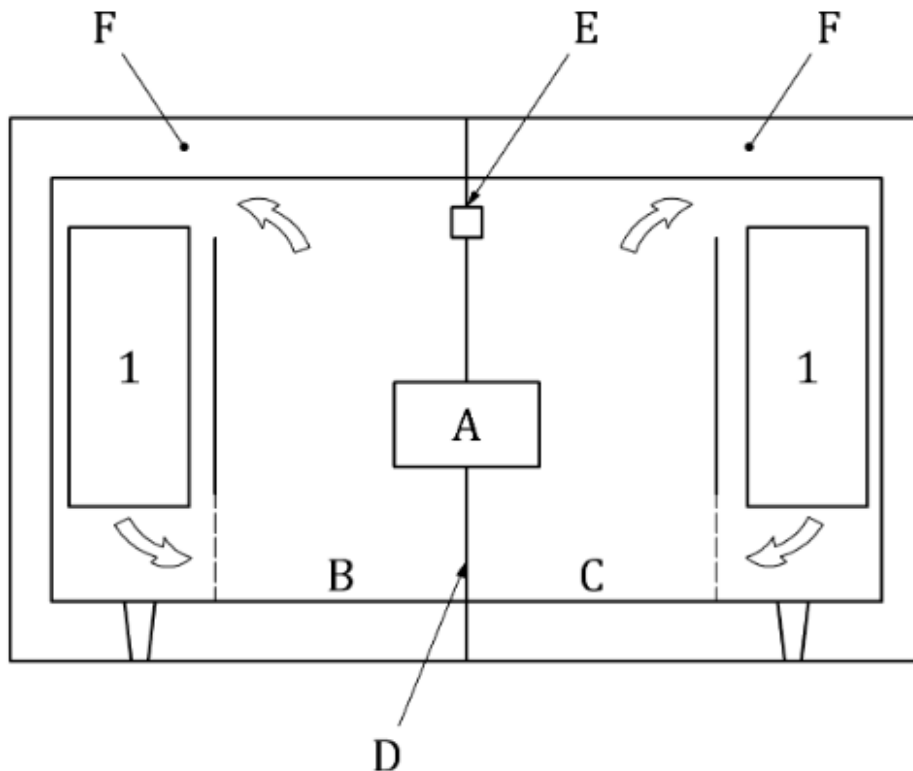


Joonis 4. Katseseadme manomeeter välitingimustel.

Mõlemad meetodid ehk küllastumisomaduste tabeli näitajate võrdlemine manomeetri näiduga ning ka tehniku jagatud teadmised viitasid umbes 12% suurusele erinevusele. Toote tehnilistes andmetes oli märgitud soojuskandja koguseks 1,25 kg, kuid sinna ei ole arvestatud seadme kahe osa vahelisi ühendustorusid. 12% puudujääk 1,25 kg juures annab tulemuseks 0,15 kg ehk 150 g.

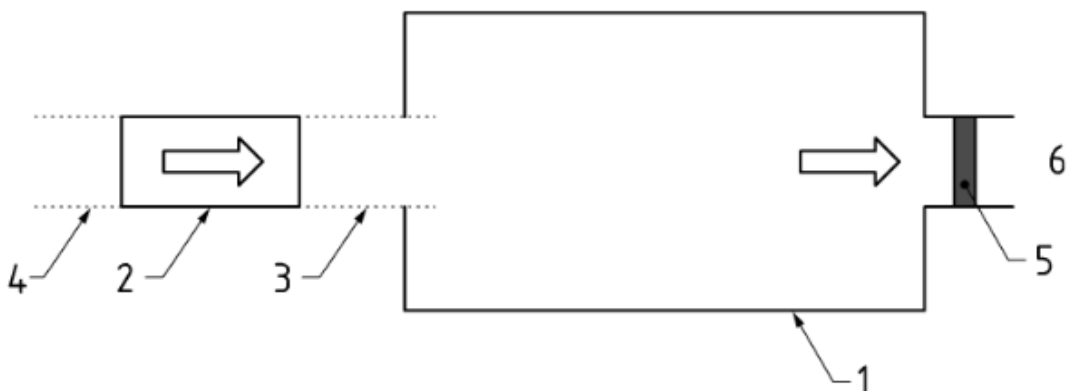
2.4. Katse meetodite standardid

Soojuspumpade katsetamiseks on loodud standardid. Nende rakendamiseks tuleks kasutada kas kalorimeetri testimismeetodit või õhuentalpia erinevuse meetodit. Kalorimeetri meetod eeldab kahe välise mõjude poolt muutmatuna püsiva katseruumi ehitamist ning katseseadme poolt tekitatud muudatuste mõõtmist taastusseadme poolt (joonis 5). [12]



Joonis 5. Kalorimeetri meetodi rakendamiseks loodud topeltruumide skeem. A – katseseade, B – siseruum, C – välisruum, D – vahesein, E – rõhu ühtlustus seade, F – katseruume ümbritsev ala, 1 – taastamisseade [12].

Siseruumi õhu entalpia meetod kujutab endas soojuspumba siseruumi paigaldatava osa sisend ning väljund õhuvoolu omaduste hindamist vastavate seadmetega. Tüüpiliselt koosneb siseruumi õhu entalpia mõõtmise ahel õhu sissepuhkkest, katseseadmest, väljavooluotsikust, väljatõmbe kambrit, õhusegistist ning mõõteseadmetest. (joonis 6). [12]



Joonis 6. Õhuentalpia meetodi skeem. 1 – väljatõmbe kamber, 2 – katseseade, 3 – väljavoolu ühendus, 4 – sissevoolu ühendus, 5 – õhusegisti, 6 – mõõteseadmed [12].

2.5. Meetodi valik antud katses

Kuna käesoleva töö eesmärk oli jälgida vaid tööparameetrite muutusi, mitte täpseid absoluutväärtusi, siis antud töös otsustati kasutada õhualpaia meetodi lihtsustatud varianti. Nimelt tehti temperatuurimõõtmised soojuspumba välisosa sisse- ning väljapuhutava õhu kohta ja õhuvoolu kiirust mõõdeti vaid eesmärgiga näha, kas ja kui palju need muutuvad ajas või erinevate külmaagensi tasemete juures. Põhiliseks eesmärgiks oli analüüsida sisend ning väljund õhuvoolu temperatuuride vahet.

Katse pikkuseks sai esmalt valitud 60 minutit, kuid peale algseid katsetusi ning andmete analüüsi jõuti järeldusele, et laboritingimustes piisab ka 30 minutist, kuna järgneva aja jooksul olulisi muutusi graafikutes ei tekkinud.

2.6. Katses kasutatavad mõõteriistad

2.6.1. Orno OR-WAT-435(GS)

Katseseadme energiakulu leidmiseks oli esmalt leida sobiv kulumõõtur. Olemasolevatest variantidest sai valitud ORNO pisikupesaga energiakulumõõtur OR-WAT-435(GS) (joonis 7).



Joonis 7. Orno OR-WAT-435(GS).

Tegu on suure ekraaniga seadmega, kust on mugav lugeda selle poolt pakutud informatsiooni. Energiakulu mõõdik võimaldab näha elektriseadme hetkel tarbitava elektrienergia kogust, juba tarbitud energia kogust ning ka selle maksumust. Samuti on võimalik vaadata võimsust, pinget, voolutugevust, sagedust, võimsustegurit ning aega. Tehnilised andmed on toodud tabelis 5. [13]

Tabel 5. Orno OR-WAT-435(GS) tehnilised andmed [13]

Maksimaalne koormus	3680W
Pistikupesa tüüp	2P+E
Kaitseaste (IP)	20
Pistikupesa standard	Schuko (tüüp F)
Sisseehitatud aku	Jah
Mõõtmed – sügavus	77,20 mm
Mõõtmed – kõrgus	149 mm
Nimipinge; sagedus	230 V, 50 Hz

2.6.2. DHT22– temperatuuri andur

Teiseks oli vaja leida katse eesmärgi täitev seade temperatuuri mõõtmiseks. Otsustati kasutada andurit DHT22, mis on temperatuuri ja niiskust mõõtev sensor. Tegu on laialdast kasutust leidnud mooduliga, kuna on täpne, piisavalt odav ning võimaldab ka mõõta niiskust. Mugavust lisab ühejuhtmeline ühendatavus. Tehniline spetsifikatsioon on toodud tabelis 6.

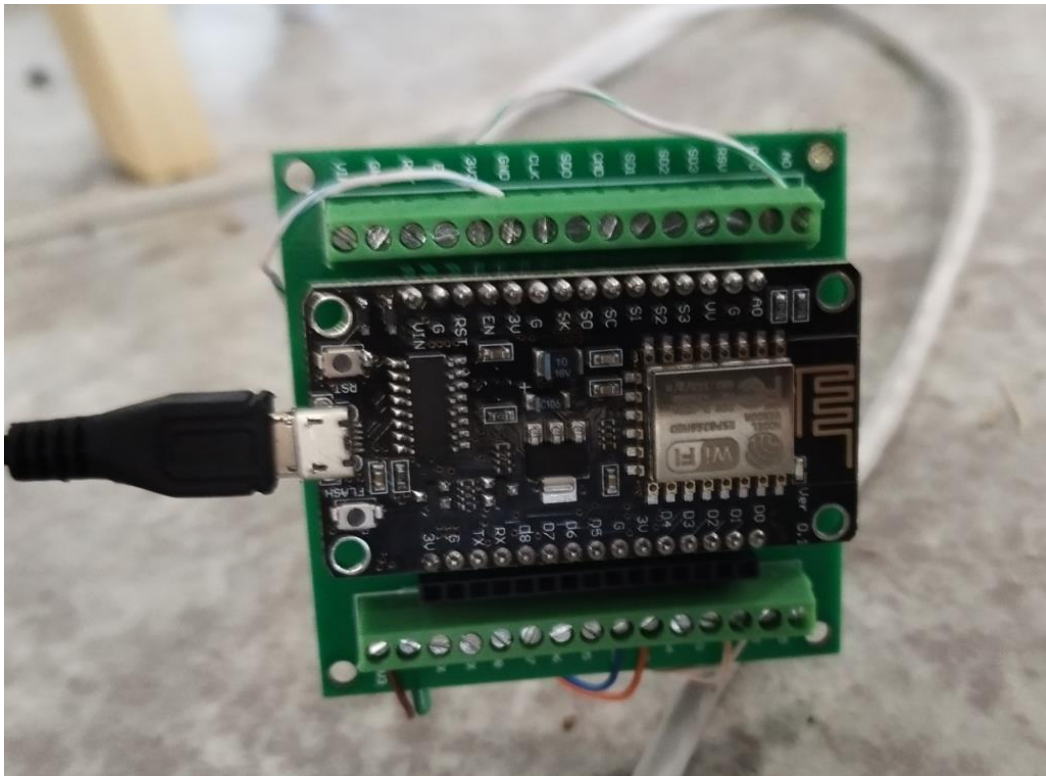
Tabel 6. DHT22 tehniline informatsioon [14]

Temperatuur	
Mõõtejaotis	0,1 °C
Täpsus	0,5 °C
Mõõteulatus	-40 °C kuni 80 °C
Niiskus	
Mõõtejaotis (suhteline õhuniiskus)	0,1%
Täpsus	2% (25 °C juures)
Mõõteulatus	0% kuni 99,9%
Lisateave	
Toitepinge	3,3 V kuni 5,5 V
Soovitavad hoiutingimused (temperatuur)	10 °C kuni °C
Soovitavad hoiutingimused (niiskus)	60% või vähem

Eelmainitud seade on ühendatud kiibiga ESP8266, mis saadab andmeid Maaülikooli serveris olevasse ThingsBoard keskkonda.

2.6.3. ESP8266 – mikrokontroller

See on väike, aga väga mitme otstarbeline mikrokontroller, mis on välja töötatud Hiina ettevõtte Espressif Systemsi poolt. Kiibile integreeritud WiFi-moodul lubab seadmel juhtmevabalt saata informatsiooni lokaalsesse võrku või internetti. Tänu oma madalale hinnale, energiasäästlikkusele ja küllaltki võimsale protsessorile on see kiip saanud väga populaarseks just koduautomaatika, nutikate seadmete ja sensorvõrkude loomisel. Antud töös kasutatud seade on näha joonisel 8. [15]



Joonis 8. Mikrokontroller ESP8266.

2.6.4. Mehaaniline taimer Brennenstuhl 16A

Tegu on lihtsa taimeriga, mida saab kasutada seadmete automaatseks sisse- ja väljalülitamiseks vastavalt sellele määratud ajakavale. Katseseade oli läbi selle seadme määratud töötama 30 minutit ning seejärel tegema 90 minutit pausi. Selline lihtne ja töökindel taimer on asjakohane, kui ei ole vaja seadme käivitumisi kontrollida üle interneti. Brennenstuhl 16A taimer on valitud just seetõttu, et see vastab katse vajadustele, pakkudes usaldusväärset ja lihtsat viisi soojuspumba tööaja reguleerimiseks.

2.6.4. Kaal DS-450

Soojuskandja massi määramine toimus kaalumiseseadmega DS-450. LCD-ekraaniga kaal, mis võimaldab kasutada „tara“ funktsiooni, et nullida kaalul oleva objekti massi näit. Täpsusklassid ja kaaluplatvormi suurus on toodud tabelis 7. Kaalul olev plaat on valmistatud roostevabast terast.

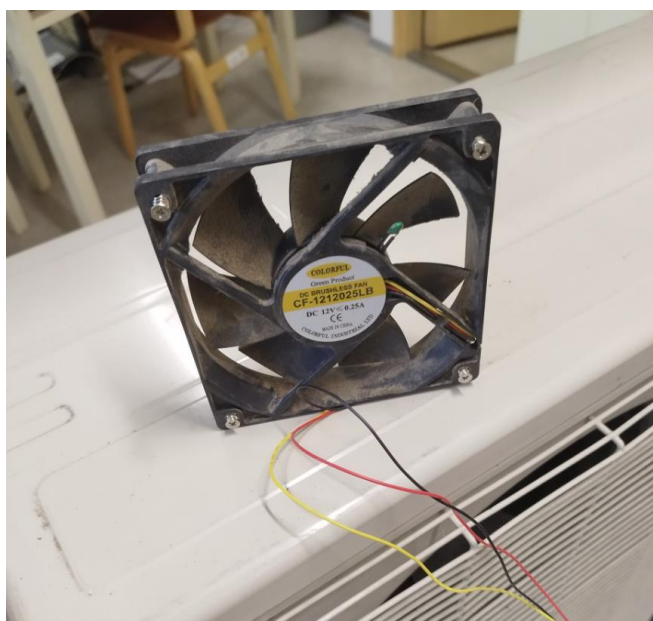
Tabel 7. Kaal DS-450 täpsusklassid ja kaaluplatvormi dimensioonid [16]

Kaaluplatvorm mõõtmed (mm)	Kaalutav mass (kg)	Mõõtetäpsus (g)
205 x 250	0,3/0,6	0,002/0,005
	3/6/15/30	0,2/0,5/1/2

Kuna töös kaalutavad massid jäävad eelnevas tabelis välja toodud vahemikku 6 kuni 15 kg, siis mõõtetäpsus on vastavalt 0,5 kuni 1 grammi.

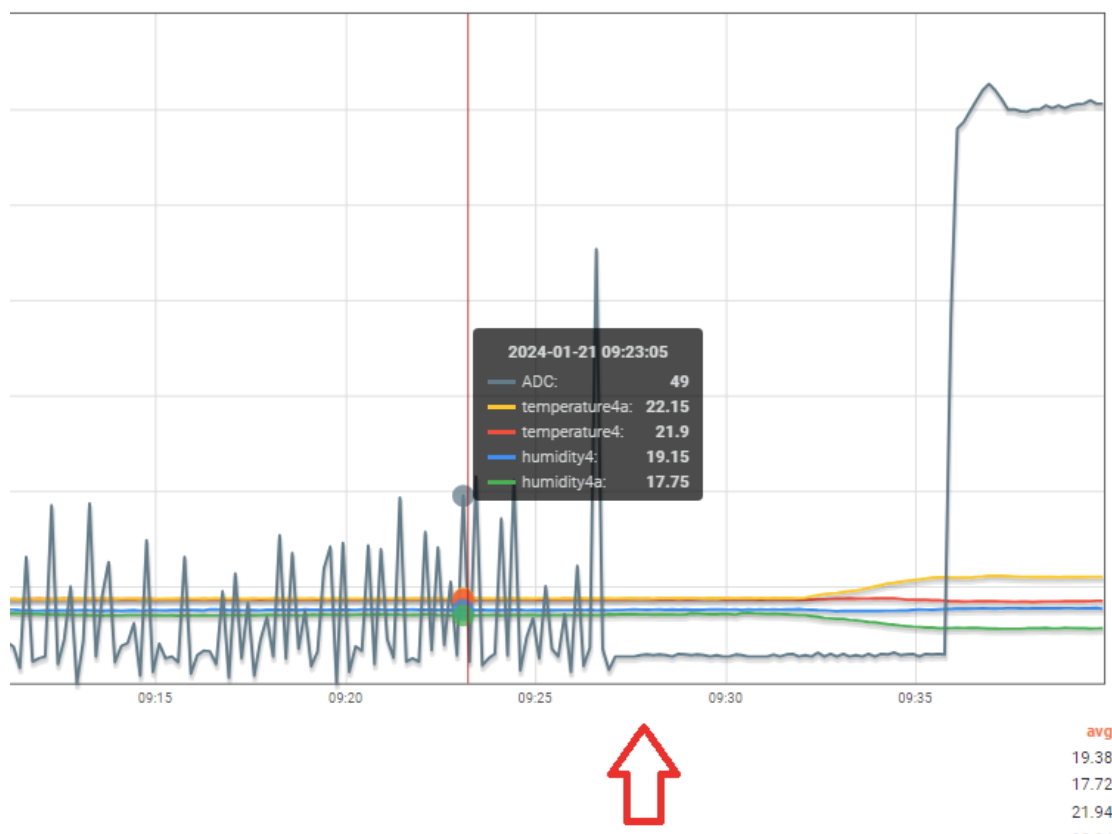
2.6.5. Õhuvoolu mõõtmise seadeldis

Nagu ka meetodi valiku peatükis kirjeldatud sai, ei tegeletud õhuhulkade absoluutsete väärtustega, kuid sellegi poolest oli vaja teada, kas katse jooksul õhuvoolu kiirus on konstantne. Kuna töös juba kasutusel olev mikrokontroller ESP8266 suudab mõõta ka pinget, siis see võimaldas kasutada vanast lauaarvutist alles jäänud ventilaatorit, et genereerida soojuspumba poolt tekitatud õhuvooluga pinget, mille väärtus on otseselt seotud õhuvoolu kiirusega – mida kiirem õhuvool, seda suurem on ventilaatori poolt tekitatud pingetase. Kontrolleri poolt loetud näidud saadetakse sarnaselt temperatuurinäitudele ThingsBoard keskkonda. Kasutust leidnud arvutijahuti on välja toodud joonisel 9.



Joonis 9. Õhuvoolu kiiruse jälgimiseks kasutatud arvutiventilaator Colorful CF-1212025LB.

Eelmainitud kontrolleri saab ThingsBoard keskkonda digitaalsignaali, mis on muundatud analoogsignaalist ehk antud töö puhul arvutiventilaatori poolt tekitatud pingest. ESP8266 kasutab selleks analoog-digitaalmuundurit ning saadud informatsioon kuvatakse arvnäitajana. Kuna mõõtmistulemused olid väga kõikuvad, siis tuli selle sisendsignaali silumiseks kasutada RC-filtrit (joonis 10), mis tähendab takisti ja kondensaatori lisamist arvutiventilaatori ja mikrokontrolleri vahele.

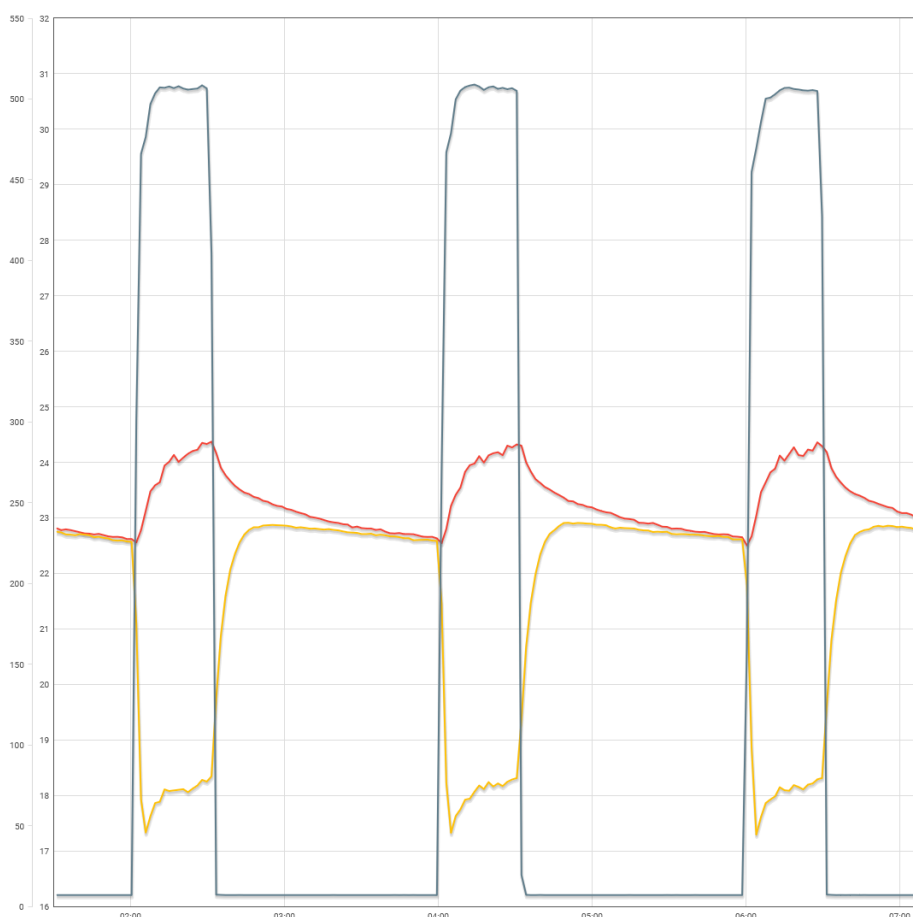


Joonis 10. Kuvatõmmis ThingsBoard keskkonnast – õhuvoolu kiiruse mõõteriista signaali silumine.

RC-filtrer laseb läbi madala sagedusega signaale ehk eemaldab kiireid muutusi ja häireid signaalis, muutes graafiku stabiilsemaks. Signaaliparanduse tulemus on hästi näha eelneval joonisel. Vasakul pool punase noolega märgitud kohta on signaal enne kondensaatori ja takisti lisamist ning paremal pool on signaal peale lisamist.

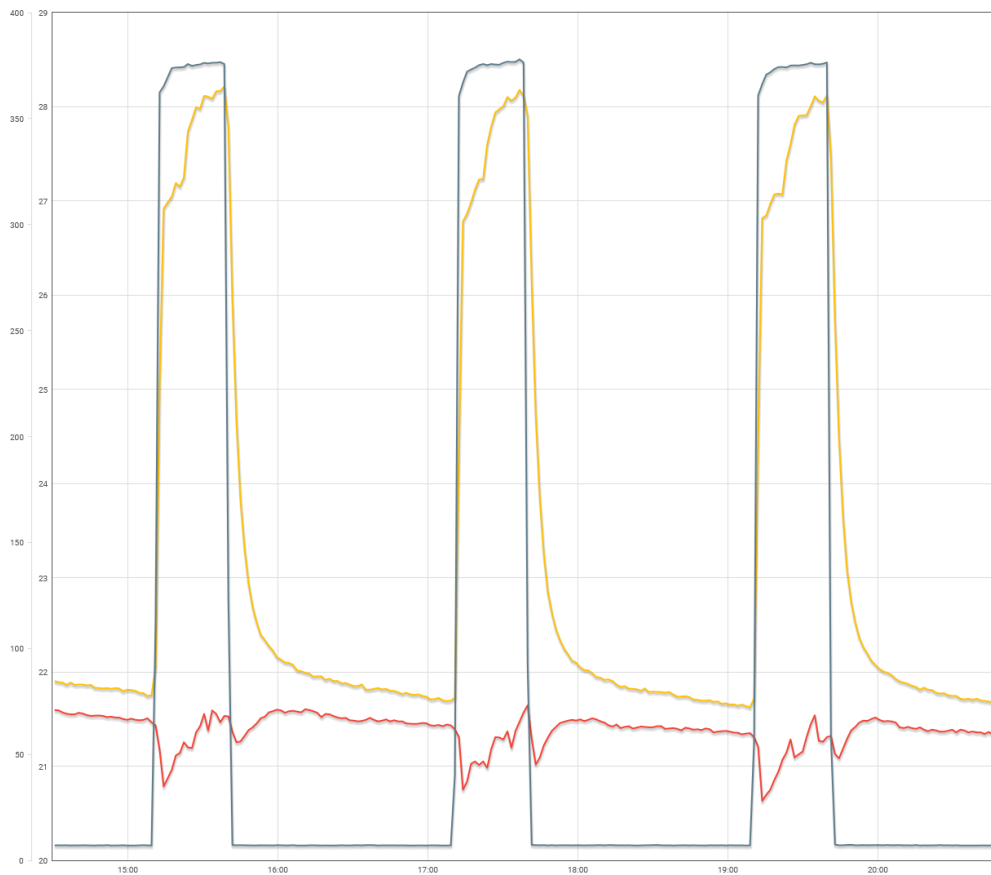
2.7. Katse käik

Otsustati sooritada vähemalt kolm soojuspumba täitmist, kuna küllastusomaduste tabelil põhinevad oletused viitasid umbkaudselt 150-grammisele puudujäägile soojuskandja R410a koguses. Iga külmaagensi taseme juures tehti vähemalt kolm katset kütmise ning kolm katset jahutuse režiimis. Iga katse pikkuseks sai valitud 30 minutit ning katsete algust ja lõppu ehk soojuspumba käivitumist reguleeriti mehaanilise taimeriga. Peale igat 30 minutulist katset seiskus soojuspump 90 minutiks. Katseseade sätiti mõõtmisteks oma tavalisse olekusse ehk ei kasutatud ühtegi võimalikku lisarežiimi. Kütmisolekus määrati saavutatavaks temperatuuriks soojuspumba sätetes maksimaalne 30 °C ning jahutusel madalaim võimalik temperatuur 18 °C. Mõõtmistulemused registreeriti viie sekundi keskmistena ehk 360 korda ühe katse jooksul. Joonisel 8 on välja toodud graafiline näide mõõtmistulemuste registreerimisest külmaagensi algse koguse juures. Soojuspump oli sätitud kütterežiimi.



Joonis 8. Kuvatõmmis ThingsBoard keskkonnast. Kütterežiimi graafikud.

Graafikult nähtav kollane joon sümboliseerib temperatuure, mis on kogutud soojuspumba välisosa väljapuhutatavast õhust. Punane joon näitab soojuspumba välisosa sisendõhu temperatuuri. Sisendõhu temperatuur tõuseb katse jooksul, kuna katseseadme sisemise seadme poolt soojendatav õhk satub välisosa sisendõhu voolu. Sarnane nähtus tekib ka katsetega jahutusrežiimis, kus soojuspumba siseosast väljuv jahe õhk satub välisosa sisendõhu voolu (joonis 9).

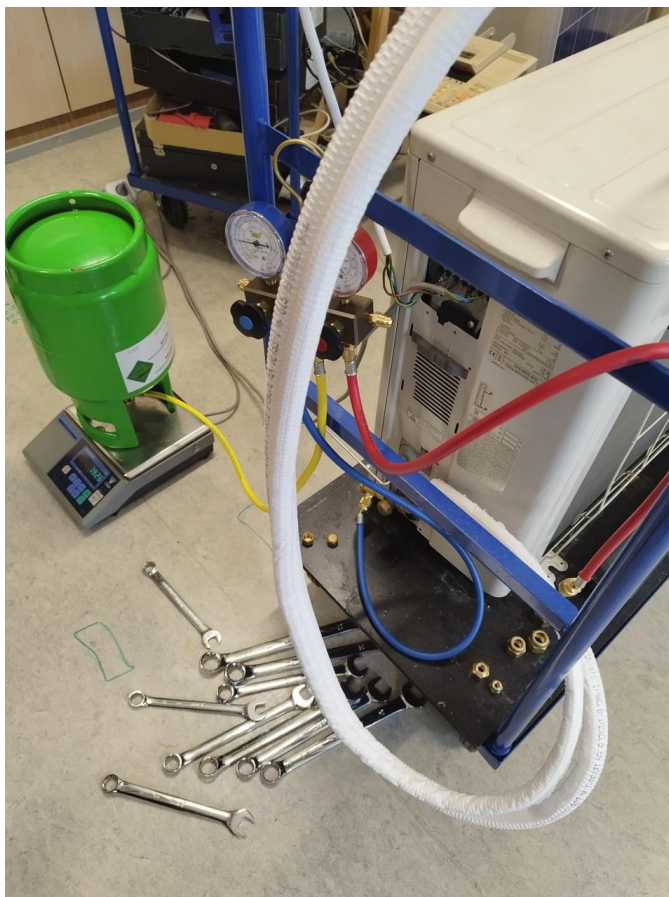


Joonis 9. Kuvatõmmis ThingsBoard keskkonnast. Jahutus režiimi graafikud.

Jahutusseadistusel on soojuspumba välisosa väljapuhutatav õhk labori toatemperatuurist soojem, seetõttu on ka kollane joon seekord graafiku ülemises osas. Sinisega on graafikutele tähistatud õhuvoolu mõõtmise andmed, mida loeb tuulegeneraatoriks muundatud arvutiventilaator.

2.8. Soojuspumba täitmine soojuskandjaga R410a

Soojuspumbad, mis kasutavad tööks R410a külmaagensi, töötavad suure rõhu all ning nende täitmisel tuleb olla väga ettevaatlik, et masinas olevat ainet mitte atmosfääri lasta. Selle vältimiseks kasutati esmasel täitmisel soojuspumpade hooldusega tegeleva tehniku abi. Täitmine on illustreeritud joonisega 10.



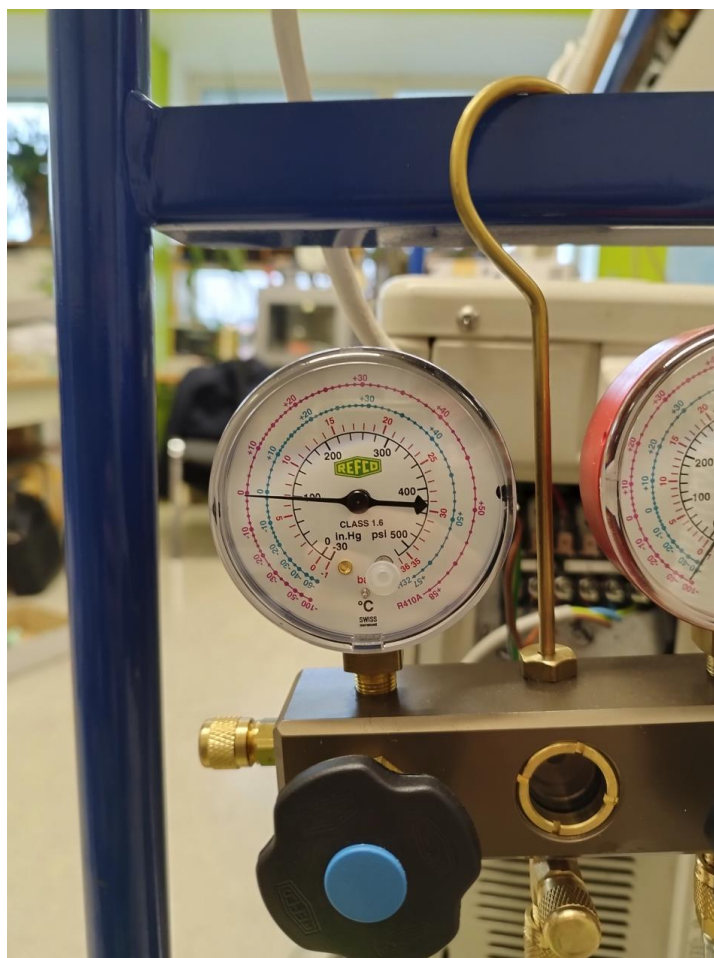
Joonis 10. Soojuspumba täitmine.

Soojuskandjat sisaldav metallnõu kaal fikseeriti enne esmast täitmist – 7,864 kg. Balloonile oli pressitud tühja taara kaal, milleks oli 7,35 kg, mis tähendab, et soojuskandjat oli seal sees 514 g. Täitmise ajal hoiti ballooni kaalu peal ning eesmärk oli lisada katseseadmele korraga 50 g. Täitmise käigus selgus, et täpseid koguseid sellisel moel lisada ei ole eriti lihtne ja õiged kogused selgusid alles peale täitmist, kui voolikud olid lahti ühendatud. Kogused, mis katseseadmesse jõudsid, on toodud tabelis 8.

Tabel 8. Soojuspumba täitmise andmed

Kuupäev	21.02	02.03	09.03	16.03
Lisatud kogus	38 g	52 g	52 g	64 g

Nagu ka eelnevast tabelist selgub, tehti üks täitmine plaanitust rohkem, kuna kolme eelneva tulemusena ei saavutatud soovitud rõhku katseseadme sees. Viimase täitmise tulemus katse-seadmega ühendatud manomeetri näidule on kuvatud joonisel 11.



Joonis 11. Soojuspumba manomeetri rõhk jahutusrežiimis peale viimast täitmist.

Tehniku soovitus oli saavutada 7 baarine rõhk külmutusrežiimil. Samuti loodeti näha soojuspumbaga ühendatud manomeetril R410a küllastusomaduste tabelile vastavat rõhu ja temperatuuri näitu võrrelduna laboris oleva toatemperatuuriga, mis ka ligilähedalt peale viimast täitmist saavutati.

3. TULEMUSED JA ARUTELU

3.1. Katsealuse soojuspumba temperatuuride mõõtetulemused

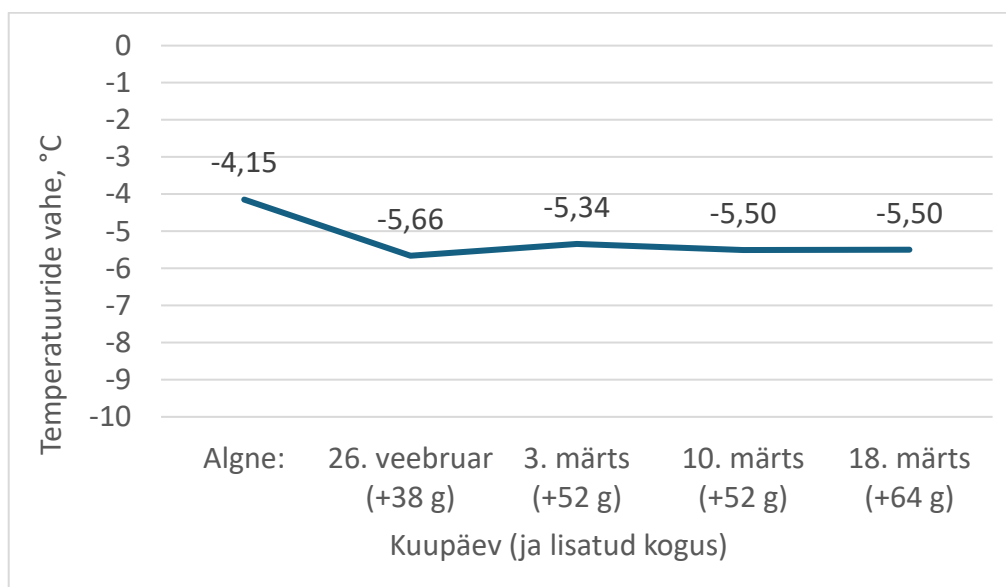
Järgnevalt võetakse kokku katsete tulemused, mis toimusid kahe kuu jooksul Eesti Maaülikooli Metsanduse ja inseneeria instituudi katlalaboris. Koondandmed on toodud tabelis 9. Antud töö jaoks toodi välja 30 katset – 15 kütmise režiimis ja 15 jahutuse režiimis. Mõlemas seadistuses kolm katset iga erineva soojuskandja taseme jaoks. Kütterežiimi väärtused on toodud vastandmärgiliselt, et illustreerida tulemust soojuspumba välisosa läbivale õhuvoolule. Jahutusrežiimis masinat läbiv õhk soojeneb, soojendusel jahtub.

Tabel 9. Temperatuurimõõtmiste katsetulemuste koondtabel

	Väljund- ja sisendõhuvoolu temperatuuride vahe, °C	
	Soojendusrežiim	Jahutusrežiim
Esialgne soojuskandja kogus		
1. katse	-4,03	6,23
2. katse	-4,21	5,97
3. katse	-4,20	6,11
Kolme katse keskmine	-4,15	6,10
Peale esimest täitmist (+38 g)		
1. katse	-5,59	6,15
2. katse	-5,70	6,37
3. katse	-5,68	6,28
Kolme katse keskmine	-5,66	6,27
Peale teist täitmist (+52 g)		
1. katse	-5,47	7,02
2. katse	-5,24	7,14
3. katse	-5,30	7,08
Kolme katse keskmine	-5,34	7,08
Peale kolmandat täitmist (+52 g)		

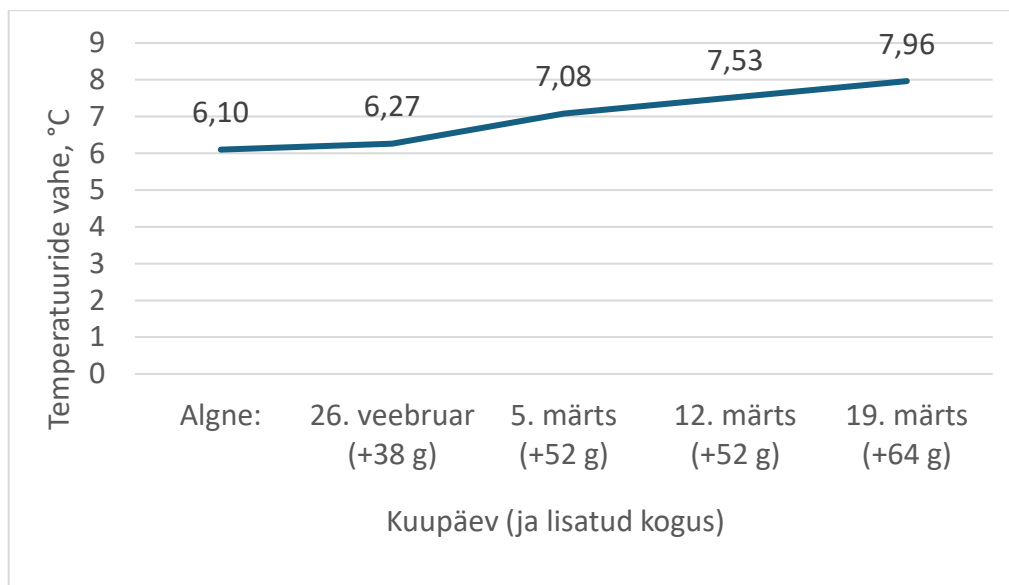
1. katse	-5,53	7,50
2. katse	-5,48	7,53
3. katse	-5,50	7,55
Kolme katse keskmine	-5,50	7,53
Peale neljandat täitmist (+64 g)		
1. katse	-5,52	7,85
2. katse	-5,54	7,97
3. katse	-5,43	8,07
Kolme katse keskmine	-5,50	7,96

Kui tabeli 9 andmetest eraldada kütte- ning jahutustsüklite keskmised ning koondada need eraldi tabelitesse, saame graafikud, mis on välja toodud joonisel 12 ja 13. Joondiagrammidel on kujutatud õhuvoolu väljund- ja sisendtemperatuuri vahe muutused soojuspumba algsest soojuskandja tasemest kuni viimase täitmiseni.



Joonis 12. Soojuspumba välisosa väljapuhutava ning sisendõhuvoolu temperatuuride vahe algsest soojuskandjakogusest kuni viimase täitmiseni kütterežiimis.

Eelneval jooniselt näeme, et esimene soojuspumba täitmine viis väga suure muutuseni temperatuuride vahes. Seejärel mõõdetud vahed stabiliseeruvad.



Joonis 13. Soojuspumba välisosa väljapuhutava ning sisendõhuvoolu temperatuuride vahe algsest soojuskandjakogusest kuni viimase täitmiseni jahutusrežiimis.

Jahutusrežiimi graafik näitab stabiilset tõusu temperatuuri muutustes võrdeliselt soojuskandja lisamisega seadmesse.

3.2. Tarbimisvõimuse mõõtmised

Soojuspumba tarbimisvõimsust mõõdeti kogu katse vältel. Tabelis 2, kus olid välja toodud katseseadme tehnilised näitajad seadmega kaasas oleva käsiraamatu kohaselt, oli kirjas, et jahutusrežiimil on elektrienergia tarbimisvõimsus 1,16 kW ning kütterežiimil 1,38 kW. Esimene katse, mis seadmega läbi viidi, oli algse tarbimise väljaselgitamine. Ühe tunni pikkuse mõõtmise tulemused olid vastavalt 1,35 kW kütmisel ning 1,15 kW jahutamisel.

Kuna katsepikkuseks sai valitud 30 minutit, siis edaspidi jälgiti ka tarbimisvõimsust selle aja jooksul. Erinevate soojuskandja koguste juures katseseadme elektrienergia tarbimise kasvu või langust ei täheldatud. Kütteseadistustel oli see vahemikus 0,64 kW kuni 0,68 kW 30 minutise katse jooksul. Jahutusrežiimis andis sama pikk ajavahemik tulemiseks 0,55 kW kuni 0,58 kW.

3.3. Õhuvoolu mõõtmise tulemused

Katseks ehitatud seade, millega mõõdeti õhuvoolu kiirust, andis tulemuseks väärtused, mis on toodud tabelis 10.

Tabel 10. Õhuvoolu suhtelise kiiruse mõõtmise tulemused

Lisatud külmaagensi kogus	Algne	+38 g	+52 g	+52 g	+64 g
Jahutusrežiim	367	373	371	370	375
Kütterežiim	458	462	447	460	454

Eraldatud on kütte- ning jahutusrežiim ja mõõtetulemused on saadud samadest katsetest, mis temperatuuri mõõtmiste graafikus.

3.4. Tulemuste analüüs

Katse käigus mõõdeti nelja näitajat, milleks olid seadme välisosasse siseneva õhuvoolu temperatuur, sealt väljuva õhuvoolu temperatuur, õhuvoolu suhteline kiirus ja katse jooksul tarbitud elektrienergia kogus.

Kuna katsetulemused näitasid, et seadme energia tarbimine ja õhuvoolu suhteline kiirus soojuskandja lisamisel märgatavalt ei muutunud, siis võime antud uurimustöös need väärtused konstantseteks lugeda. Ainus muutuv väärtus on sellisel juhul temperatuuride muut seadmesse siseneva ja sealt väljuva õhuvoolu vahel ehk Δt . Soojushulka arvutatakse valemiga [17]

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t, \quad (3.1.)$$

kus Q on soojushulk, J;

c - aine erisoojus, $\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$;

m - keha ehk õhu mass, kg;

Δt - temperatuuri muut, $^\circ C$.

Katse käigus õhu kogust ei mõõdetud, seega keha massi ei teata, kuid katsete jooksul muutumatu õhuvoolu kiirus näitab, et tõenäoliselt ka õhu kogus ei muutunud. Aine erisoojuseks on õhu erisoojus, mille väärtus sõltub natuke tingimustest, kuid ka selle suuruse võime katsete jooksul muutumatuks lugeda. Ainukeseks muutuvaks suuruseks jääb sellisel juhul Δt ehk temperatuuri muutus. Eelnevat arvesse võttes saab väita, et Δt ja soojushulk on võrdelises suhtes.

Järgmisena vaatame soojuspumba tõhususteguri arvutamist valemiga [18]

$$CoP = \frac{Q}{N}, \quad (3.2.)$$

kus CoP on tõhusustegur;

Q - soojushulk, J;

N - energia tarbimine, J.

Energia tarbimise mõõtmised olid kooskõlas tehnilistest andmetest välja loetud suurustega ja katsete vältel erisusi ei täheldatud. Kuna soojushulk on võrdelises suhtes temperatuuri muutusega, siis ka tõhusustegur sõltub antud katse tulemusi arvestades vaid temperatuuri muutusest.

Vaadates esmalt jahutusrežiimil tehtud mõõtmiste tulemusi, näeme, et esimesel mõõtmisel on Δt väärtuseks 6,10 °C ning peale viimast pumba täitmist 7,96 °C. Kuna seadme normaalseisund on õige soojuskandja koguse juures, siis saab öelda, et seadme poolt üle kantud soojushulk ja ka tõhusustegur olid tänu puudu olevale soojuskandjakogusele 23,4% madalamad normaalsest.

Soojendusrežiimil tekib oluline muutus Δt väärtuses peale esimest täitmist. See võib olla tingitud katse toimumisest laboritingimustes, seadistusveast või mõnest muust teadmata faktorist, mida võiks tulevikus uurida. Antud töös võeti siiski aluseks viimase mõõtmise tulemus, mis annab puudevast soojuskandja kogusest tingitud tõhususteguri ja soojushulga ülekande languseks 24,6%.

KOKKUVÕTE

Soojuspumbad on tänapäeval väga olulised seadmed, mis aitavad energiatõhusalt reguleerida erinevate hoonete sisekliimat neid vastavalt vajadusele küttes või jahutades. Käesoleva uurimustöö eesmärk oli analüüsida ühe soojuspumba tööparameetrite käitumist erinevate soojuskandja koguste juures laboritingimustel. Selleks kasutati bakalaureuseastmes omandatud teadmisi, et valida välja katsemeetod. Samuti loodi ja valiti vastavad mõõteriistad ning katseseadmed. Uuritavateks parameetriteks olid tarbimisvõimsus, soojuspumba välisosa sisend- ja väljundõhuvoolu temperatuuride vahe ning õhuvoolu suhteline kiirus.

Uurimustööle aluse andmiseks tõi autor esmalt välja olulise taustateabe õhk-õhk tüüpi soojuspumpade toimimise kohta. Samuti kirjeldati külmutusagenside ajalugu ning neile esitatud nõudeid, et mõista miks nende ainete pidev arendamine siiani aktuaalne on.

Seadmete ja meetodika osas kirjeldati katseaset ja mõõteriistu. Samuti vaadeldi kehtivaid standardeid õhksoojuspumpade katsetamiseks ning tehti antud katse läbiviimise võimalusi arvesse võttes otsus katsemeetodika valiku osas.

Katsed viidi läbi nii soojendus- kui jahutusrežiimis kõikide soojuskandja koguste tasemetel. Antud uurimustöö tulemuste analüüs näitas, et soojuskandja kogus mõjutab oluliselt soojuspumba välisosa sisend- ja väljundtemperatuuride vahet (Δt), kuid seadme tarbimisvõimsus ning seadme välisosa läbiva õhuvoolu kiirus ei sõltunud soojuspumbas olevast soojuskandja kogusest. Soojendusrežiimis tekkis väga suur muudatus juba peale esimest soojuskandja lisamist, kuid jahutusrežiimis olid muudatused ühtlasemad ning Δt suurenes peale igat soojuspumba täitmist.

Antud uurimustöö näitas, et soojuspumba välisosa töö tulemusel tekkinud temperatuuride muut sisend- ning väljundõhuvoolu vahel on otseselt seotud soojuskandja kogusega katseseadmes. Sellest lähtuvalt võib öelda, et külmaagensi kogus mõjutab nii seadme võimet kanda üle soojushulka kui ka seadme tõhusustegurit. Tänu puuduvale soojuskandja kogusele oli soojuspumba tõhusustegur katsetingimustel ligi 23% madalam jahutusrežiimis ning ligi 25% madalam kütterežiimis.

Kokkuvõtvalt näitas antud uurimistöö, et soojuskandja kogus mängib olulist rolli soojuspumba efektiivsuses ning selle täpne reguleerimine on oluline selliste seadmete optimaalseks toimimiseks. Õige kogus soojuskandjat seadmes vähendab kulutusi tarbitavale elektrienergiale ning vähendab aega, mis seadmel kulub, et viia hoone õhutemperatuur soovitud tasemele.

SUMMARY

Heat pumps are essential devices today, efficiently regulating the indoor climate of various buildings by heating and cooling them as needed. The aim of this research was to analyze the behavior of the operating parameters of one heat pump at different amounts of heat carrier under laboratory conditions. For this, the knowledge acquired in the bachelor's degree was used to select the experimental method. Corresponding measuring instruments and test equipment were also created and selected. The parameters to be studied were the power consumption, the temperature difference between the input and output air flow of the heat pump's outer part and the relative speed of the air flow.

To provide a basis for the research, the author first presented important background information on the operation of air-to-air heat pumps. The history of refrigerants and their requirements were also described in order to understand why the continuous development of these substances is still relevant.

In the equipment and methodology section, the experimental setup and instrumentation were described. The valid standards for testing air heat pumps were also examined, and a decision was made regarding the choice of test methodology, taking into account the possibilities of conducting this test.

Tests were performed in both heating and cooling mode at all levels of heat carrier quantities. The analysis of the results of this research showed that the amount of heat carrier significantly affects the difference between the input and output temperatures of the external part of the heat pump (Δt), but the power consumption of the device and the speed of the air flow passing through the external part of the device did not depend on the amount of heat carrier in the heat pump. In the heating mode, a very large change occurred already after the first addition of the heat carrier, but in the cooling mode, the changes were more uniform, and Δt increased after each filling of the heat pump.

This research showed that the temperature change between the input and output air flow resulting from the operation of the external part of the heat pump is directly related to the amount of heat carrier in the test device. Based on this, it can be said that the amount of

refrigerant affects both the ability of the device to transfer the amount of heat and the efficiency factor of the device. Due to the missing amount of heat carrier, the efficiency factor of the heat pump was almost 23% lower in the cooling mode and almost 25% lower in the heating mode under the test conditions.

In summary, this research showed that the amount of heat carrier plays an important role in the efficiency of the heat pump, and its precise regulation is important for the optimal functioning of such devices. The correct amount of heat carrier in the device reduces the cost of the consumed electricity and reduces the time it takes for the device to bring the air temperature of the building to the desired level.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Eesti Entsüklopeedia. (1995). 8. kd. Tallinn: Eesti Entsüklopeediakirjastus, 576 lk.
2. Eesti Soojuspumba Liit. Soojuspumba tööpõhimõte. [veebileht] <http://www.soojuspumbaliit.ee/Soojuspumba-toopohimote> (28.12.2023).
3. Wright Renewable Heating. Air Source Heat Pumps. [veebileht] <https://www.wrightrenewableheating.co.uk/air-source-heat-pumps/> (28.12.2023).
4. Paist, A., Poobus, A. (2009). Soojusgeneraatorid. Tallinn: TTÜ kirjastus. 147 lk.
5. Pearson, S. F. (2003). Refrigerants: past, present and future. [veebileht] https://web.archive.org/web/20180713171048/http://www.r744.com/files/pdf_597.pdf
6. Kumma, N., Kruthiventi, S. S. H. (2024). Current status of refrigerants used in domestic applications: A review. – *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Nr 189. [e-ajakiri] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032123009310> (05.02.2024).
7. Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental. [veebileht] https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_AnnexVII.pdf (25.04.2024).
8. DuPont™ Suva® 407C (R-407C) and DuPont™ Suva® 410A (R-410A) Properties, Uses, Storage, and Handling. Technical Information. [veebileht] https://www.insco.com/ASSETS/DOCUMENTS/ITEMS/EN/UNI-99862_Broc.pdf (25.04.2024).
9. The European FluoroCarbons Technical Committee. [veebileht] https://www.fluorocarbons.org/wp-content/uploads/2020/07/2020_07_27_Fluorocarbon-Molecules-environmental-properties-and-main-applications-2020-July.pdf (13.02.2024).
10. Fujitsu AOYG14LTCN/ASYG14LTCB õhk-õhk soojuspumba kasutusjuhend.
11. Thermodynamic Properties of DuPont Suva 410A Refrigerant (R-410A) [veebileht] https://www.cantas.com/urunpdf/20.09.008_h64423_Suva410A_thermo_prop_si.pdf (13.02.2024).
12. Õhkkonditsioneerid. (2022). Õhukonditsioneerid, vedelikjahutusseadmed ja

- soojuspumbad ruumide kütteks ja jahutuseks ning protsessijahutid elektrikompressoritega. Osa 3: Katsemeetodid: Eesti standard EVS – EN 14511-3:2022. Tallinn: Eesti standardikeskus. [veebileht] <https://www.evs.ee/et/evs-iso-11352-2017> (13.02.2024).
13. Orno – Living innovations. Energiakalkulaator. [veebileht] <https://orno.pl/en/product/1074/energy-calculator-with-lcd-display-schuko> (10.03.2024).
14. Waveshare Electronics. Temperature-Humidity_Sensor. https://www.waveshare.com/wiki/DHT22_Temperature-Humidity_Sensor (10.03.2024).
15. Espressif. Hardware. ESP8266. [veebileht] <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266> (20.04.2024).
16. Essae. Kaal DS-450/45. Toote spetsifikatsioon. [veebileht] <https://www.uniweighscales.com/pdf/12.pdf> (20.04.2024).
17. Soojushulk. Valem.ee. [veebileht] <https://www.valem.ee/et/soojushulk> (25.04.2024).
18. Eesti Soojuspumba Liit. Soojustegur. [veebileht] <http://www.soojuspumbaliit.ee/Soojustegur> (25.04.2024).

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Indrek Haak
sünniaeg 12.12.1989

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö , mille juhendaja(d) on Külli Hovi ja Mart Hovi,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor Indrek Haak (allkirjastatud digitaalselt)
(allkiri)

Tartu, 03.06.2024

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Küllli Hovi (allkirjastatud digitaalselt)

03.06.2024

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

Mart Hovi (allkirjastatud digitaalselt)

03.06.2024

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)