



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**VENTILATSIOONI SOOJUSTAGASTITEGA
SEOTUD VIGADE MÕJU NENDE EFEKTIIVSUSELE
JA SOOJUSTARBELE**

**THE IMPACT OF FAULTS RELATED TO VENTILATION
HEAT RECOVERY ON THEIR EFFICIENCY AND HEATING
ENERGY USE**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Hermo Poolmaa

Üliõpilaskood: 183167EAXM

Juhendaja(d): Alo Mikola, nooremteadur

Martin Thalfeldt, professor

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 2021.

Autor: Hermo Poolmaa

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2021.

Juhendaja: Alo Mikola

Martin Thalfeldt

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

"....."2021.

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Hermo Poolmaa (sünnikuupäev: 22.05.1994)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

mille juhendaja on Alo Mikola ja Martin Thalfeldt,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Hermo Poolmaa, 183167EAXM (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava, peeriala: EAXM15/15 - Hooned ja rajatised, küte ja ventilatsioon

Juhendaja(d): Nooremteadur, Alo Mikola, 56647035

Professor, Martin Thalfeldt

Konsultant: Puudub

Lõputöö teema:

..Ventilatsiooni...soojustagastitega...seotud...vigade...mõju...nende...efektiivsusele...ja soojustarbele

The impact of faults related to ventilation heat recovery on their efficiency and heating energy use

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Koguda andmeid soojustagastite efektiivsuse hindamiseks sihilikult tekitatud vigade esinemise ajal
2. Analüüsida tekitatud vigade mõju soojustagastite efektiivsusele
3. Mõõta ja analüüsida soojustagastite sektsioonides ja ventilatsiooniagregaatides toimuvat leket.
4. Analüüsida soojustagastis toimuvast lekkest tingitud mõju soojustagastite efektiivsusele

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Tekitada kontrollitud tingimustes füüsilised vead plaat- ja rootorsoojustagastitele ning mõõta soojustagastite efektiivsust	8.03.2021
2.	Mõõta ventilatsiooniseadmete soojustagastite sektsioonis toimuvat leket ning analüüsida selle mõju soojustagasti efektiivsusele ja soojustarbel	25.04.2021
3.	Temperatuuride põhjal soojustagasti lekke hindamise meetodi valideerimine märkegaasi meetodi vastu	10.05.2021
4.	Soojustagastite korrigeeritud temperatuuri suhtarv arvestades leket soojustagastis	10.05.2021

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "17" mai 2021a

Üliõpilane: Hermo Poolmaa ".....".....2021a

/allkiri/

Juhendaja: Alo Mikola ".....".....2021a

/allkiri/

Juhendaja: Martin Thalfeldt ".....".....2021a

/allkiri/

Programmijuht: Simo Ilomets ".....".....2021a

/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	8
SISSEJUHATUS	9
1. TEOORIA	11
1.1 Soojustagastus	11
1.2 Soojustagastid.....	11
1.2.1 Plaatsoojustagasti	12
1.2.2 Rootorsoojustagasti.....	15
1.3 Soojustagasti efektiivsus	18
1.3.1 Temperatuuri suhtarv	18
1.3.2 Lekked soojustagastussüsteemis.....	19
1.3.3 Soojustagasti korrigeeritud temperatuuri suhtarv.....	23
1.4 Varasemad uurimused	24
2. KATSED JA MÕÕTMISED.....	25
2.1 Eesmärk	25
2.2 Mõõtmised ja meetodika	26
2.2.1 Ventilatsiooniseade SV4	27
2.2.2 Ventilatsiooniseade SV11	28
2.2.3 Ventilatsiooniseade SV9	28
2.2.4 Soojustagastite temperatuuri suhtarvu mõõtmise meetodika	29
2.2.5 Soojustagasti sektsiooni lekke arvutamise meetodika	33
3. TULEMUSED JA ANALÜÜS	37
3.1 Mõõtetulemused ja analüüs.....	37
3.1.1 Soojustagastites mõõdetud ja tehase poolt deklareeritud temperatuuri suhtarvud	37
3.1.2 SV11 plaatsoojustagasti mõõtetulemused temperatuuride suhtarvu põhjal ..	38
3.1.3 Rootorsoojustagasti temperatuuri suhtarv teibitud pinnaga	40
3.1.4 Rootorsoojustagasti rihma libisemine.....	41
3.1.5 SV4 rootorsoojustagasti lekke suurused erinevate ΔP_{22-11} rõhkude vahega ja pöörlemiskiirustega.....	43
3.1.6 SV9 rootorsoojustagasti leke võrdlus positiivse ja negatiivse ΔP_{22-11} rõhkude vahega	46
3.1.7 Lekked soojustagastus sektsioonis mõõdetud temperatuuri suhtarvu ja märkegaasi meetodil.....	47
3.1.8 Temperatuuri suhtarvu meetodi valideerimine märkegaasi meetodi põhjal ..	50
3.1.9 Soojustagasti korrigeeritud temperatuuri suhtarv arvestades leket soojustagastis	52

3.2 Tuvastatud vead	54
3.3 Lahendused ja ettepanekud	55
KOKKUVÕTE	56
SUMMARY	58
KASUTATUD KIRJANDUS	60
LISAD	62
Lisa 1. SV4 ventilatsiooniseadme tehniline andmeleht	63
Lisa 2. SV9 ventilatsiooniseadme tehniline andmeleht	64
Lisa 3. SV11 ventilatsiooniseadme tehniline andmeleht	65

EESSÕNA

Antud magistritöö teema on valitud Tallinna Tehnika Ülikooli Liginullenergiahoonete uurimusrühma ja Ruut8 OÜ koostöös tehtava „Masinõppel ja reeglipõhisel veatuvastusel põhinevad automaatsed meetodid ventilatsiooniseadmete efektiivsuse suurendamiseks“ uurimusprojekti põhjal. Eesmärk on panustada Tallinna Tehnikaülikooli ja Ruut8 OÜ ühisesse uurimusprojekti, kogudes vajalike mõõteandmeid ventilatsiooniseadmetest, mõõtes õhu lekkeid ventilatsiooniseadmetes ja luues erinevaid füüsilisi vigu soojutagastitele.

Töö valmimiseks on kasutatud Tallinna Tehnikaülikooli pereelamu (Akadeemia tee 5a) keldri korruse ventilatsiooniseadmeid (SV4 ja SV11) ja Tallinn tehnikaülikooli Ehituse katsehalli (Mäepealse 3) hoone showruumi ventilatsiooniseadet (SV9), et tekitada ventilatsiooniseadmete soojustagastitele erinevaid vigu. Katsete käigus mõõdeti soojustagastitele tekitatud erinevate vigade töö parameetreid ja kogutud mõõtetulemusi kasutati lõputöö valmimiseks.

Töö valmimise osas soovin tänu avaldada Tallinna Tehnikaülikooli Liginullenergiahoonete uurimusrühmale, Akadeemia tee 5a hoone haldajatele ja juhendajatele (Alo Mikola ja Martin Thalfeldt).

soojustagastid, energiaefektiivsus, veatuvastus, leke, magistritöö

SISSEJUHATUS

Hoonete energiatõhusus on globaalselt kõige suurem ja kõige soodsam sektor emissioonide vähendamiseks [1]. Selleks, et täna rekonstrueerida vana hoone energiatõhusaks või ehitada uus energiatõhus hoone on hoone konstruktsioonid projekteeritud väga õhutihedad ja soojapidavad. Õhutihedad konstruktsioonid hoiavad ära soovimatu niiske õhu sattumist siseruumidesse ja konstruktsiooni ebatihedustest tingitud külma õhu sattumist ruumidesse. Mida õhutihedam on konstruktsioon seda vähem toimub hoones loomuliku teel õhu ventileerimist. Kuid selleks, et tagada hoones hea sisekliima on projekteeritud energiatõhusatele hoonetele ventilatsioonisüsteemid. Kuid energiatõhus hoone tähendab ka energiasäästliku ventilatsiooniseadet millel on maksimaalselt parim soojustagastus.

Arvestades hetke olukorda kogu maailmas, kus seoses COVID-19 pandeemiaga on täna võetud kasutusele erinevaid meetmeid, et takistada viiruse levikut, on aina rohkem hakatud jälgima just ventilatsiooniseadmete soojustagastite toimivust ja efektiivsust. Erilise tähelepanu alla on sattunud soojustagastus sektsioonis toimuv lekke suund ja suurus. Kuid ka soojustagastitel esinevad vead ja nende mõju soojustagasti efektiivsusele ning ventilatsioonisüsteemi soojustarbele.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on tekitada ja katsetada sihilikult soojustagastitega seotud vigasid ning mõõta ja analüüsida vigade mõju soojustagastite efektiivsusele. Katsete käigus kogutud andmeid ja uuringute tulemusi saab kasutada automaatse veatuvastuse meetodite arendamisel, et tuvastada soojustagastites võimalikult varajases staadiumis erinevaid võimalike tekkivaid vigu, millest põhjustatuna võib ventilatsioonisüsteemi energiaefektiivsus oluliselt langeda ning tekitada olulist energiakulu suurenemist hoone energiatarbes. Ventilatsioonisüsteemis tuvastatud häire edastatakse läbi hooneautomaatika ehk BMS-i (Building management system) süsteemi haldajale või hoone omanikele. Selleks, et oleks võimalik tuvastada erinevaid võimalike vigu soojustagastites on vaja mõõta erinevaid ventilatsiooniseadme parameetreid: nt. temperatuurid, õhuhulgad, rõhukadu üle soojustagasti. Selleks mõõdeti lõputöö raames ventilatsiooniseadmete töös erinevaid parameetreid ja analüüsiti nende parameetrite väärtusi seadmele etteantud väärtustega. Lõputöö põhiline uurimus viidi läbi Tallinna Tehnikaülikooli pereelamus (Akadeemia tee 5a) keldrikorruse SV4 ja SV11 ventilatsiooniseadmete ja Mäepealse 3 hoone SV9 ventilatsiooniseadme põhjal. SV4 ja SV9 seadmel on rootorsoojustagasti. SV11 seadmel on plaatsoojustagasti.

Antud lõputöös on teostatud ventilatsiooniseadmetele SV4, SV9 ja SV11 erinevad vead ning mõõdetud vigade mõju soojustagasti efektiivsusele. Soojustagastitele teostati mustuse jäljendamist, möödaviiguklapi mitte korrektset sulgumist, rootorsoojusvaheti rihma libisemist ja mõõdeti soojustagastis toimuvat leket. Põhiliselt on soojustagasti efektiivsuse hindamiseks kasutatud temperatuuride suhtarvu arvutamise meetodit. Lisaks on mõõdetud soojustagastus sektsioonis toimuvat leket nii temperatuuri suhtarvu meetodil ja märkegaasi meetodil ning võrreldud saadud tulemusi omavahel.

1. TEOORIA

1.1 Soojustagastus

Soojustagastiteks nimetatakse energiat vahendavaid süsteeme, kus kasutatakse ära ning antakse näiteks väljatõmmatava õhu soojusenergia (ilmne soojus, kui ka varjatud soojus) üle sissepuhkeõhule. Selle eelduseks on, et väljatõmmatava õhu temperatuur on kõrgem kui välisõhu temperatuur. Sellisel juhul on võimalik kasutada väljatõmbeõhku sissepuhkeõhu soojendamiseks. Vastupidises olukorras, kus väljatõmbeõhk on jahedam kui välisõhu temperatuur, siis sellisel viisil on võimalik sissepuhkeõhku hoopis jahutada, näiteks suvisel ajal. Kasutades ära väljatõmbeõhu soojusenergiat (ilmne ja varjatud soojus) ning andes see sissepuhkeõhule on võimalik tänapäevaste soojustagastus süsteemidega olulisel määral säästa ja kokku hoida sissepuhkeõhuks vajaliku temperatuuri saavutamiseks kuluvat kütte- või jahutusenergiat. [2]

1.2 Soojustagastid

Soojustagasti põhiliseks komponendiks on soojusvaheti. Soojustagastid jagunevad kaheks; regeneratiivseteks ja rekuperatiivseteks. Regeneratiivses soojusvahetis tahke aine vaheldumisi jahutudes ja soojenedes annab soojust üle ühelt õhuvoolult teisele. Selleks regeneratiivsetes soojusvahetites muutub küllaltki lühikese ajavahemiku jooksul soojuslevi suund. Tüüpiliseks regeneratiivseks seadmeks on rootortagasti. Rekuperatiivses soojusvahetis antakse soojus üle ühest õhuvoolust teise otseselt või kaudselt meetodil, nt läbi vaheseina. Soojuslevi suund ei muutu. Põhilisteks rekuperatiivseteks soojusvahetiteks on plaat- või vahesoojuskandjaga tagasti. [2]

Regeneratiivne soojustagasti tööpõhimõte on, et soojus antakse ühest õhuvoolust teisele tsüklikena, muudates soojuslevi suunda lühikeste ajavahemike tagant ning soojendades rootoriratast milles on palju väikseid paralleelseid õhukanaleid, mille kaudu õhk läbi voolab. Pidevalt vaheldumisi voolab soe ja külm õhk läbi soojustagasti, tänu millele antakse ühelt õhult soojusenergia teisele.

Regeneratiivsetel pöörlevatel soojustagastitel võib esineda lekkeid kuni 4-5% ulatuses. Selle tõttu pole regeneratiivsed soojustagastid soovitatav kasutada kohtades, kus on tähtis, et väljatõmbe- ja sissepuhkeõhk üldse ei seguneks, nagu näiteks keemia- ja mikrobioloogialaborites, köökides või haiglates

operatsioonisaalides. Regeneratiivseid soojustagasteid saab moodustada ka nii, et need tagastaks niiskust. [3, p. 148]

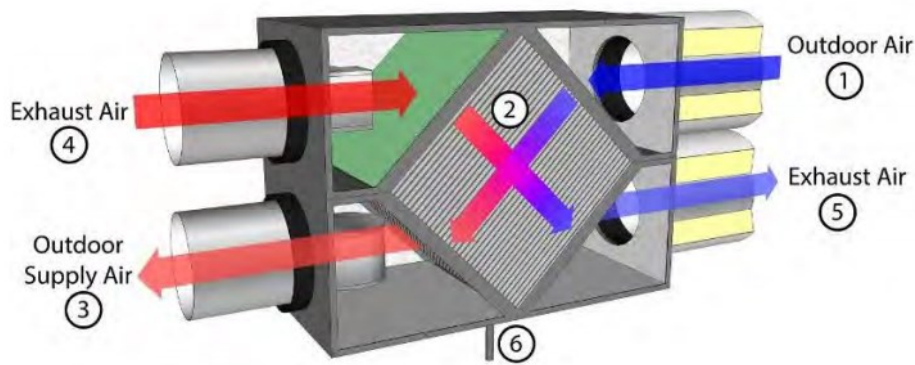
Rekuperatiivse soojustagasti tööpõhimõte on, et soojus antakse ühest õhuvoolust teisele läbi vaheseina mis on tavaliselt hästi soojust akumulatsioonivast materjalist, näiteks alumiiniumist. Teise enamlevinud variandina antakse soojus üle ühest õhuvoolust teisele läbi vedeliku (nt. vahesoojuskandjaga soojustagasti), kus soojusülekanne efektiivsuse suurendamiseks juhitakse omakorda vedelikult antav soojus hästi soojust akumulatsioonivale materjalile ja sealt omakorda soojendavale või jahutatavale õhule.

Rekuperatiivsete soojustagastite eeliseks on minimaalne saastunud õhu segunemine värske õhuga. Plaatsoojustagastites võib saastunud õhu segunemine värske õhuga olla maksimaalselt 1%. Vahesoojuskandjaga soojustagastis saastunud õhu segunemist värske õhuga ei toimu, kuna sissepuhe ja väljatõmbe sektsioonid on üksteisest täiesti eraldatud ega pruugi olla ühes ruumiski.

Soojustagastite põhiliseks valikute aluseks on: maksimaalne võimalik temperatuuri suhtarv, maksimaalne võimalik aastane energiatagastuse suhtarv, sissepuhke ja väljatõmbe vooluhulkade segunemise lubatus ja konstruktiivsed võimalused. [2]

1.2.1 Plaatsoojustagasti

Ventilatsioonisüsteemides kasutatavatest rekuperatiivsetest soojustagastitest on kõige levinum plaatsoojustagasti. Plaatsoojustagastil puuduvad liikuvad osad (välja arvatud soojusvaheti ees olev ajamiga sulgklapp), mis teeb plaatsoojustagastist kasutuskindlama soojustagasti võrreldes alternatiivsete soojustagastitega. Plaatsoojustagastite soojusenergia tagastuse efektiivsus ehk temperatuuri suhtarv on ristvoolusel plaatsoojustagastil vahemikus 50-70% ja vastuvoolusel plaatsoojustagastil 80-90% [4]. Plaatsoojustagastis kantakse soojus üle ühelt õhuvoolult teisele läbi sissepuhke- ja väljatõmbeõhku eraldavate paralleelselt asetsevate vaheseinte, mis on valmistatud väga hästi soojust juhtivast materjalist, tavaliselt metallist. Kuid kasutatakse ka erinevaid plastik ja muid sünteetilisi materjale, mis soojenevad kiiresti. Tänu sellisele ülesehitusele on plaatsoojustagastid väga töökindlad ning madalate kasutus- ja hoolduskuludega. [5]



Joonis 1. Plaatsoojustagasti tööpõhimõte [6]

Plaatsoojustagastite efektiivsus on põhiliselt seotud väljatõmbe- ja sissepuhkeõhu vooluhulkadest ning voolusuunast, soojustagasti vaheseinte kaugusest, soojustagasti pinnast ja pinnatüübist ning materjalist. Näiteks soojusvaheti pinna karedus võib tekitada turbulentsset õhuvoolu, mille tulemusel soojusülekanne tegur suureneb. [5]

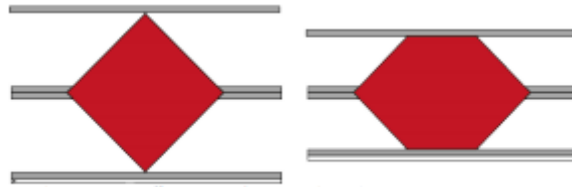
Paralleelsed vastuvoolused õhuvoolud võivad saavutada teoreetilise maksimaalse soojustagastuse, kus antakse soojus üle ühelt õhuvoolult teisele 100% ulatuses. Kui aga õhuvoolud on samasuunalised, siis oleks soojustagastuse efektiivsus ainult 50%. Optimaalseks soojustagastamiseks ning valmistamise ja paigaldamise lihtsuseks on põhiliselt suuremates ventilatsiooniseadmetes kasutusel ristvoolused plaatsoojustagastid, väiksemates seadmetes aga vastuvoolused soojustagastid. [5]

Kuigi ristvoolused soojustagastid on kehvamate temperatuuri suhtarvu näitajatega, siis võime tihti küsida endilt miks ei kasutata teoreetilise parima soojusülekanne saavutamiseks vastuvooluseid plaatsoojusvaheteid. Põhiliselt on see tingitud õhuvõtu ja väljaviske paiknemisest, mis muudab seadme kujundamise ja tootmise keeruliseks. Selleks on vastuvooluses soojustagastis kujundatud äärtesse kaks segamistsooni ja keskele vastuvoolu tsoon. Kaks segamistsooni kujutavad endast põhiliselt ristvoolset soojusvahetit, ning soojusvaheti keskmises tsoonis asub vastuvoolne tsoon. Kuna vastuvooluses soojusvahetis põhiline soojusülekanne toimubki just keskmises tsoonis, siis seega sõltub vastuvoolu soojustagasti efektiivsus just keskmise tsooni pikkusest. [7]

Kuna aga õhuvooluhulgad ei tohi seguneda plaatsoojustagastis, siis on plaadid tehtud vastuvooluses soojustagastis ühest tükist, mille valmistamiseks on, aga vaja suuri ja tihti ka kalleid tööriistu. Seega kasutatakse vastuvoolset soojusvahetit juhul, kui ristvoolset soojusvahetit pole võimalik kasutada. Samuti ei toodeta vastuvooluseid

soojusvaheteid suuremate õhuhulkade, kui 5000 m³/h seoses keerulisest tootmisest ja kõrgete tootmiskulude pärast. [7]

Plaatsoojustagastis on lubatud 250 Pa suuruse õhurõhu vahe juures õhulekke arvuks (saastunud õhu segunemine puhta õhuga) 0,5% õhuvooluhulgast ning niiskustagastusega plaatsoojustagastis 1,0% õhuvooluhulgast. [8]



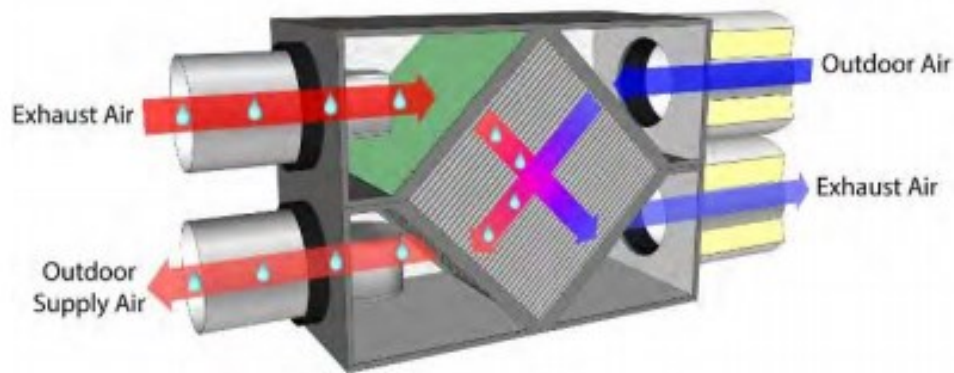
Joonis 2. Vastuvoolne soojustagasti on lapikum [7]

Plaatsoojustagastites tekib kondensaad ehk veeauru välja kondenseerumine, kui väljatõmbeõhu temperatuur langeb soojusvahetis alla kastepunkti temperatuuri (vt. Joonis 3). Seega plaatsoojustagastites võib välisõhutemperatuuridel alla 0 °C (tavaliselt -4 °C juures) tekkida olukord, kui õhust välja kondenseeruv niiskus hakkab jäätuma. Kondenseeruv niiskus hakkab jäätuma juhul, kui soojusvaheti pinnatemperatuur langeb alla 0 °C. Kui soojusvaheti jäätub, siis suureneb rõhulang üle soojustagasti ning soojustagasti temperatuuri suhtarv hakkab langema. Samuti soojusvahetisse tekkiv jää võib kahjustada soojusvaheti pindasid ning neid lõhkuda. Selleks, et vältida soojusvaheti jäätumist ja jäätumise teket on plaatsoojustagastitel kasutusel möödaviigukanal, mille avamist ning sulgemist juhitakse klapisüsteemiga. Samuti asub õhuvõtu poolel sulgklapp soojusvaheti pinna ees, millega on võimalik juhtida soojusvahetisse minevat välisõhu kogust. Möödaviiguklapp ja soojusvaheti klapp töötavad vastupidiselt, ehk kui soojusvaheti klappi suletakse, siis möödaviiguklappi avatakse. Olukorras, kus soojusvahetis on tekkinud jäätumine, avatakse möödaviigu klapp ning suletakse soojusvaheti ees olev klapp ning läbi soojusvaheti juhitakse ainult soe väljatõmbeõhk, mis sulatab tekkinud jää soojusvahetis. Plaatsoojustagastid peavad olema seega varustatud kondensaadi äravoolu toruga. [4]

Plaatsoojustagastites toimub nii ilmne-, kui varjatud soojuse ülekanne. Ilmne soojus antakse soojusenergiana üle ühelt õhult teisele temperatuuri tõusuga. Varjatud soojus, aga veeauru kondenseerumisest vabaneva soojusenergiana ning seejärel juba ilmse soojusena ühelt õhuvoolult teisele. [4]

Ventilatsioonisüsteemides on võimalik ka kasutada niiskustagastusega soojustagasteid ehk entalpiatüüpi soojustagastid. Niiskustagastusega soojustagastid annavad väljatõmmatava õhuniiskuse üle sissepuhkeõhule, mis talvel aitab hoida ruumides paremat sisekliimat, kuna õhuniiskus ei lange välisõhu soojenemisel liiga madalale. Väljatõmbeõhu niiskuse andmine sisspuhkeõhule aitab aga saavutada plaatsoojustagastis tunduvalt madalama temperatuuri, kus soojustagasti võib hakata jäätuma. Tavaliselt jääb see kuskil -15 °C juurde. Lisaks antakse peale ilmse soojuse üle suur osa varjatud soojust, mis aga omakorda tähendab, et entalpiatüüpi soojustagastid on parema temperatuuri suhtarvuga, kui tavalised plaatsoojustagastid. [4]

Tavaliselt kasutatakse entalpiatüüpi soojustagasteid kohtades, kus on oluline talvisel ajal hoida kõrgemat ruumiõhu niiskussisalduse taset (nt. muuseumid, koolid, kontorid jms). [4]



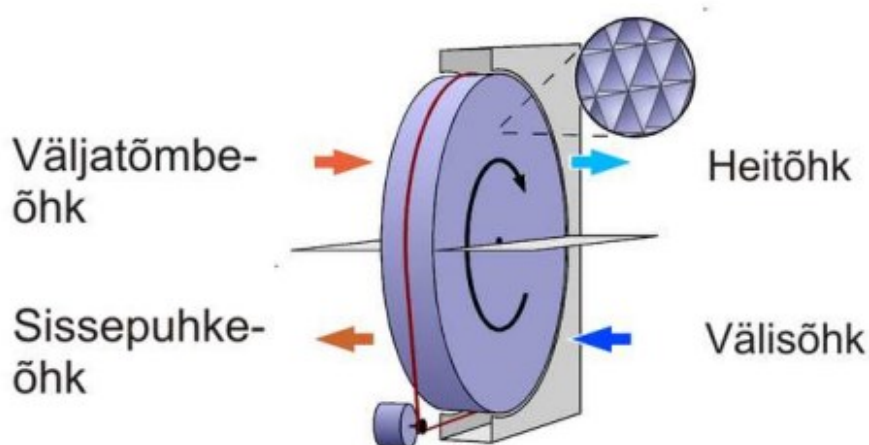
Joonis 3. Niiskuse kondenseerumine talvel [6]

1.2.2 Rotorsoojustagasti

Ventilatsioonisüsteemides kasutatavatest regeneratiivsetest soojustagastitest on kõige levinum rotorsoojustagasti. Rotorsoojustagastite soojusenergia tagastuse efektiivsus ehk temperatuuri suhtarv on vahemikus 50-80%. Rotorsoojustagasti koosneb pöörlevast rotorirattast (soojusvahetist) ja rotoriratast pöörlema panevast mootorist ning rihmast. Rotoriratas on kärjetaoline ning koosneb väikestest paralleelsetest õhukanalitest, läbi mille õhk liigub. Rotorsoojusvaheti töö põhimõtteks on, et soojus antakse ühest õhuvoolust teise tsüklitena, muudetes soojuslevi suunda lühikeste ajavahemike tagant. Selleks asub pool rotorirattast õhuvõtu-sissepuhke poolel ja teine pool väljatõmbe-väljaviske poolel. Rotoriratas koosneb hästi soojust akumulatsioonivast materjalist, tavaliselt metallist (alumiiniumist). Rotoriratas pannakse pöörlema ning seega muudetakse pidevalt

soojuslevi suunda ning antakse väljatõmbe poolelt akumulieritud soe õhk, külmale värsketele õhule. Lisaks soojuse ülekandele annab rootorsoojustagasti ka niiskust väljatõmbeõhult sissepuhkeõhule. Rotorsoojustagasti soojusülekannet reguleeritakse rootoriratta pöörlemis kiirusega. Kui sissepuhkeõhku pole vaja soojendada või ainult vähesel määral, siis rootoriratta pöörlemist kiirust vähendatakse. Rotorsoojusvaheti tööpõhimõtet, vaata Joonis 4. [4]

Kuna rootorsoojustagasteid tehakse sektsioonidest, siis on võimalik teha neid väga erinevates mõõtudes. Rotorsoojustagasteid on võimalik teha õhuhulkadele vahemikus 200 kuni 200 000 m³/h. [9]



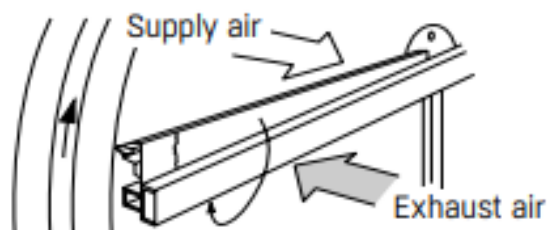
Joonis 4. Rotorsoojustagasti tööpõhimõte [10]

Rotorsoojustagastitel võib esineda lekkeid kuni 5 % ulatuses, vastavalt euroopa standardile prEN 308:2020 [11]. Selle tõttu pole rootorsoojustagasteid soovitatav kasutada kohtades kus on tähtis, et väljatõmbe- ja sissepuhkeõhk üldse ei seguneks, nagu näiteks keemia- ja mikrobioloogialaborites, köökides või haiglate operatsioonisaalides. [3, p. 148]

Rotorsoojustagasti efektiivsus on põhiliselt seotud väljatõmbe- ja sissepuhkeõhu vooluhulkadest, ventilaatorite paigutusest ventilatsiooniseadmes, soojustagasti paksusest, soojustagasti pinnast ja pinnatüübist ning materjalist. [3, p. 148]

Rotorsoojusvahetis, et saastunud õhu sattumist sissepuhkeõhule vähendada, kasutatakse võimalusel rootorsoojusvahetis puhastussektorit. Puhastussektor töötab ainult juhul, kui toimub leke sissepuhke poolelt väljatõmbe poolele (ΔP_{22-11} on positiivne). Vastupidises olukorras (ΔP_{22-11} on negatiivne) aga puhastussektor ei tööta ning seega pole puhastussektorit mõistlik kasutada.

Puhastussektor asub sõltuvalt rootori pöörlemis suunast kas sissepuhke või väljaviske poolel, kohas, kus rootor liigub väljatõmbe sektsioonist sissepuhke sektsiooni (vt. Joonis 5). Puhastussektorit on võimalik reguleerida 0-6 ° ja see tuleks seadistada vastavalt rõhule. Kui soojusvaheti puhastussektor on seadistatud väärtusele 0 °, siis kantakse alati mingil määral väljatõmbeõhku sissepuhkeõhule. Samuti kantakse selliselt alati mingil määral sissepuhkeõhku väljaviskeõhu poolele. [9]



Joonis 5. Puhastussektor

Roorsoojustagastid jagunevad hügrokoopseteks ja mittehügrokoopseteks. Hügrokoopsete roorsoojustagastite pind kaetakse spetsiaalse kihiga või kasutatakse spetsiaalset poorset alumiiniumi, mis soodustab niiskuse ülekannet väljatõmbeõhult sissepuhkeõhule. Mittehügrokoopset roorsoojusvahetid annavad niiskust väljatõmbeõhult sissepuhkeõhule ainult siis, kui väljatõmmatavast õhust toimub niiskuse kondenseerumine soojusvaheti pinnale. [9]

Roorsoojustagastitel välisõhutemperatuuri juures alla 0 °C puudub põhimõtteliselt oht jäätumiseks juhul, kui väljatõmbeõhu suhteline niiskus ei ületa 35%. Seda seepärast, et väljatõmbeõhult kondenseerunud niiskus aurustub sissepuhke poolel. Jäätumine roorsoojustagastis võib leida aset juhul, kui rootorisse tekib liigne kondensaad, mida ei suuda sissepuhkeõhk vastu võtta. Sellisel juhul reaalne jäätumisoht tekib -10 °C juures [9]

Kuna roorsoojusvahetitel puudub kaitse jäätumise vastu, siis roorsoojustagasti valikul tuleks lähtuda põhimõttest, et väljatõmbeõhu suhteline niiskus ei ületaks 35% talvisel ajal.

1.3 Soojustagasti efektiivsus

Soojustagasti efektiivsust on vaja teada, et arvutada ventilatsiooniseadme jaoks vajaliku soojusenergia tarvet, hoone energiaefektiivsust ja energiakulu ning seadme enda kasumlikust ja tasuvusaega. Soojustagastite efektiivsusele on erinevaid definitsioone, mis sõltub sellest, kuidas me defineerime süsteemi piiritlust. Oluline on kas me räägime ainult soojustagastist, ventilatsiooniseadmest või kogu ventilatsioonisüsteemist. [4]

Soojustagasti efektiivsust on võimalik mõõta temperatuuride (ilmne soojus), niiskussisalduse või entalpia põhjal. Samuti on võimalik mõõta efektiivsust kas püsivatel parameetritel või muutuvate parameetrite põhjal, näiteks terve kütteperioodi vältel. [4]

Lihtsamate arvutusmetoodikate puhul (nt. temperatuuride põhjal) eeldatakse, et õhuvooluhulgad on võrdsed, kuid juhul, kui õhuvooluhulgad pole võrdsed tuleb kasutada soojustagasti efektiivsuse hindamisel NTU metoodikat, mis võtab arvesse erinevaid õhuvooluhulkasi ja arvestab sellest tingituna erinevaid parandeid.

1.3.1 Temperatuuri suhtarv

Temperatuuri suhtarvu kasutatakse soojustagastite puhul näitamaks, kui palju suudab soojustagasti anda ühelt õhuvoolult teisele ilmset, kui ka varjatud soojust üle. Temperatuuri suhtarvuga määratakse soojustagasti efektiivsus ja kasumlikus.

Soojustagastuse efektiivsust määratletakse temperatuuri suhtarvu η_t (temperatuuri efektiivsus) ja elektrienergia tarbimise (rõhukadu ja lisatarbijad, nt pumbad) alusel. [12] Soojustagasti efektiivsust näitab sissepuhke järgi leitud temperatuuri suhtarv η_t , mis on leitav valemiga (1.1) [2]:

$$\eta_{t,sp} = \frac{(t_{sp} - t_{\delta V})}{(t_{VT} - t_{\delta V})} \quad (1.1)$$

kus $\eta_{t,sp}$ – temperatuuri suhtarv sissepuhke järgi, -
 t_{sp} – sissepuhkeõhu temperatuur peale tagastit (enne küttekalorifeeri), °C
 $t_{\delta V}$ – õhuvõtu temperatuur, °C
 t_{VT} – väljatõmbeõhu temperatuur, °C

Samuti on võimalik arvutada soojustagasti efektiivsust väljaviske temperatuuride põhjal, mis on leitav valgemiga (1.2) [2]:

$$\eta_{t,vt} = \frac{(t_{VT} - t_{VV})}{(t_{VT} - t_{\text{õV}})} \quad (1.2)$$

kus $\eta_{t,vt}$ – temperatuuri suhtarv väljatõmbe järgi, -

t_{VV} – väljaviske temperatuur peale tagastit, °C

$t_{\text{õV}}$ – õhuvõtu temperatuur, °C

t_{VT} – väljatõmbeõhu temperatuur, °C

1.3.2 Lekked soojustagastussüsteemis

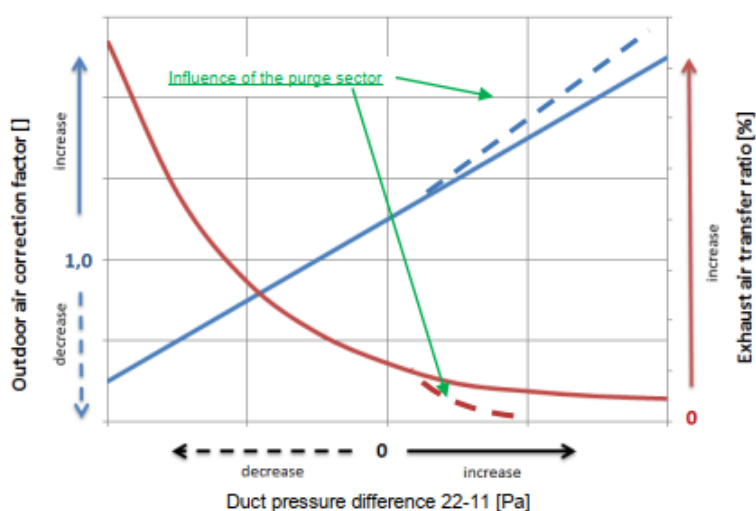
Ventilatsiooniseadmetes toimub seadmesisene leke, kuid tihti jäetakse seadmesisene leke arvestamata ventilatsiooniseadme valikul, kuna arvatakse ekslikult, et see ei oma erilist mõju ventilatsioonisüsteemi toimivusele. Vähesed projekteerijad ja ehitajad mõistavad, kui suured võivad olla tegelikud lekked ventilatsiooniseadmes, kui seade pole projekteeritud, valitud ja/või seadistatud korrektselt. Valesti valitud seadme või kehvasti paigaldatud seadme ebatihedused, võivad aga mõjutada ventilatsioonisüsteemi toimivust olulisel määral. [13]

Kõige sagedamini on probleemiks lekked rootorsoojustagastus süsteemides. Põhiliseks probleemiks on saastunud väljatõmbeõhu sattumine sissepuhkeõhku soojustagastussektioonis, mis oluliselt mõjutab sissepuhkeõhu kvaliteeti. Selleks, et vähendada või elimineerida saastunud väljatõmbeõhu sattumist ja sellega seoses võimalike bakterite levikut ruumi puhutavasse värsketele sissepuhkeõhule, tuleb pöörata tähelepanu ventilatsiooniseadmete sisestele leketele. Õigesti projekteeritud, paigaldatud ja hooldatud rootorsoojustagasti puhul on toimuv seadmesisene leke minimaalne, ega pole eriti märkimisväärne. Hästi reguleeritud süsteemides peaks oleme rootorsoojustagastus süsteemides lekkeks 0-1%, kus leke toimub sissepuhkeõhult väljatõmbeõhu poolele. Kui aga süsteem pole korrektselt seadistatud, võib olukord olla hoopis vastupidine ja saastunud õhu segunemine sissepuhkeõhuga märkimisväärne. Valesti paigaldatud ventilaatorite asetuse või valesti projekteeritud, hooldamata ja seadistamata ventilatsioonisüsteemi puhul, võib väljatõmbeõhust sattuda ligikaudu 10-20% sissepuhkeõhku. [14]

Soojustagastuse lekkeid kirjeldatakse kahe järgmise teguriga, väljapuhkeõhu ülekande suhtarvu (EATR) ja välisõhu parandusteguriga (OACF). Välisõhu parandustegur (OACF) on suhtarv õhuvõtu ja sissepuhke vooluhulkades. See määratleb ära lekke suuna ventilatsiooniseadmes. Kui OACF on suurem kui 1, siis

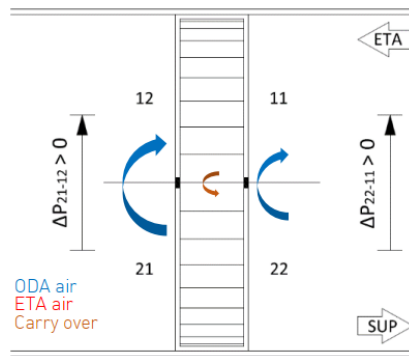
leke toimub sissepuhke poolelt väljatõmbe poolele. Kui aga väiksem kui 1, siis leke toimub väljatõmbelt sissepuhke poolele. [13]

OACF ja EATR sõltuvad rõhkude vahest soojustagasti juures. Allolev diagramm näitab OACF ja EATR sõltuvust erinevate rõhkude vahega sissepuhke ja väljatõmbe poolel. Negatiivse rõhkude vahega langeb OACF alla 1,0 ning EATR tõuseb, leke toimub väljatõmbe poolelt sissepuhke poolele. Positiivse rõhkude vahe korral, aga EATR langeb ning tõuseb OACF ning leke toimub õhuvõtu poolelt väljaviske poolele. Kui soojustagastile on ette nähtud puhastusektor, siis EATR tulemused langevad väga väikestele tulemustele ning OACF kergelt tõuseb. Parim tulemus saadakse kui on väike positiivne rõhkude vahe sissepuhke ja väljatõmbe pooltel (ΔP_{22-11}) [13].



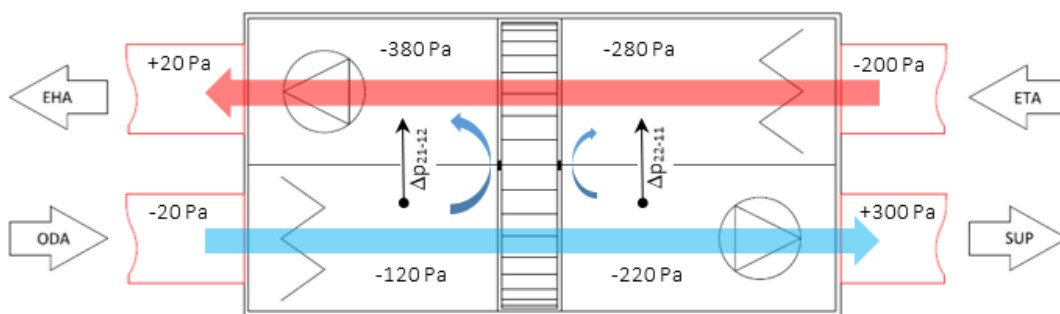
Joonis 6. OACF ja EATR-i muutus erinevate rõhkude vahega ΔP_{22-11} [13]

Põhiliseks indikaatoriks millega arvutatakse ventilatsioonisüsteemide sisemist leket ehk saastunud õhu sattumist väljatõmbeõhu poolelt sissepuhkeõhu poolele läbi rootorsoojusvaheti on Väljapuhke ülekande suhtarvu ehk EATR-i (Exhaust Air Transfer Ratio) valem. EATR on funktsioon mis võtab arvesse rõhkude erinevused sissepuhke poolel (P_{22}) ja väljatõmbe poolel (P_{11}), vt. Joonis 7. EATR-i mõjutavad põhiliselt rõhuvahed sissepuhke ja väljatõmbe sektsioonis, ventilatsiooniseadmete sektsioonide ühendused ja ebatihedused, kuid ka ventilaatorite asetus ning puhastussektori seadistus. Põhiliseks eesmärgiks on hoida kerge ülerõhk sissepuhke poolel, selleks tavaliselt seadistatakse sissepuhkele 20 Pa võrra suurem rõhk, kui väljatõmbele, et igasugune leke oleks tagatud sissepuhkeõhu poolelt väljatõmbeõhu poole. Hästi varustatud ventilatsiooniseadmetel on peale soojustagastit võimalik mõõta soojustagastusektsioonis sissepuhkeõhu ja väljatõmbeõhu rõhkusi, et kontrollida seadme sisest lekke suunda. [14]

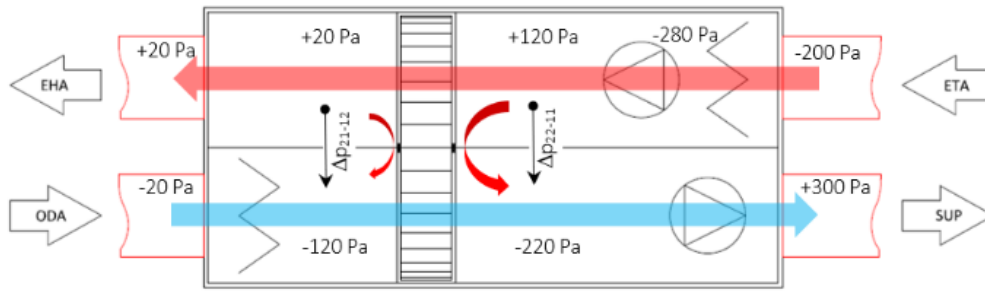


Joonis 7. Rõhkude vahe ventilatsioonisüsteemis, ΔP_{22-11} ja ΔP_{21-12} [14]

Suuresti määrab ära lekke suuna ventilatsiooniseadmesse paigaldatud ventilaatorite asukoht. Parim paigutus ventilatsiooniseadmes ventilaatoritel (vt. Joonis 8) on pärast soojustagastit, selliselt välditakse võimaliku lekke tekkimist ventilaatori asetusest tingitud rõhkude vahest väljatõmbe ja sissepuhke poolel. Kui paigutada ventilaatorid vastavalt Joonis 8, siis on väljatõmbe ja sissepuhke rõhud enam-vähem tasakaalus ning mõlemal poolel negatiivne rõhk ehk imipooled. Ning rõhkude tasakaalustamiseks on väljatõmbe poolel rõhku võimalik suurendada trosseldamise teel, mida on võimalik teha väljatõmbele paigutatava reguleerklapiga. Vastupidise olukord ehk halvim variant ventilaatorite paigutuseks (vt. Joonis 9) on, kui mõlemad ventilaatorid asuvad hoone poolel ehk väljatõmbe ja sissepuhke otste poolel. Sellisel juhul on väljatõmbe poolel rootorsoojustagasi juures surve pool ehk positiivne rõhk, aga sissepuhke poolel imipool ehk negatiivne rõhk ning rõhud ei ole omavahel tasakaalus. Samuti sellises olukorras pole võimalik paigutada reguleerklappi rõhkude tasakaalustamiseks. [14]



Joonis 8. Parim paigutus. Mõlemad ventilaatorid pärast soojustagastit [14]



Joonis 9. Halvim variant. Mõlemad ventilaatorid hoone poolel [14]

Roorsoojustagasti puhastussektor on seade, millega saab praktiliselt elimineerida igasuguse lekke väljatõmbelt sissepuhkepoolele, mis on tingitud roorsoojustagasti pöörlemisest. Oluline on, et roorsoojustagastis oleks puhastusektor korrektselt seadistatud. Puhastusektori paiknemine sõltub ventilaatorite asetusest ja puhastusektori seadistusnurk lekke suurusest. Puhastusektor tuleb seadistada vastavalt ventilatsiooniseadme kasutus- ja hooldusjuhendile. [14]

Roorsoojustagastil on sektsioonide vahel ja perimeetril tihendid (harjased), mis hoiavad ära lekke väljatõmbe ja sissepuhke sektsiooni vahel. Kuna tihend on pidevas kokkupuutes pöörleva soojusvahetiga, siis ajapikku võivad tihendid kuluda ning sellest tingituna suurenda leke kahe sektsiooni vahel. Tihendite seisukorda tuleb kontrollida, kui teostatakse ventilatsiooniseadme korralisi hooldustöid. Vajadusel tuleb tihendid vahetada ning taastada algne olukord vastavalt seadme kasutus- ja hooldusjuhendile. [14]

Lihtsustatud meetodika, mida kasutatakse roorsoojusvaheti sektsiooni lekke mõõtmiseks ventilatsiooniseadmes on väljatõmbeõhu ülekande suhtarvu (EATR) järgi. Seda meetodit on võimalik kasutada juba paigaldatud ja töötava seadme puhul, kuid tulemused ei pruugi olla väga täpsed. Väga täpseteks mõõtetulemusteks tuleks mõõtmised teostada labori tingimustes. Meetodikat mida oleks võimalik viia läbi objektis ning millega oleks võimalik saada täpseid mõõtetulemusi, lekete arvutamisel, pole lõputöö kirjutamise ajal veel välja töötatud.

EATR meetodi kasutamiseks tuleb ventilatsiooniseade panna tööle projekteeritud kasustingimustel ning peatada roorsoojusvaheti pöörlemine, ehk välja lülitada soojustagastus funktsioon. Järgmiselt mõõdetakse vahetult enne ja pärast roorsoojustagasti temperatuure, väljatõmbe-sissepuhke ning õhuvõtu poolel.

Soojusvaheti sektsioonis toimuvat leket ΔP_{22-11} näitab väljatõmbeõhu ülekande suhtarv (EATR), mis on leitav valemiga (1.3) [11]:

$$EATR = \frac{(t_{SP} - t_{\delta V})}{(t_{VT} - t_{\delta V})} \quad (1.3)$$

kus $EATR$ – väljapuhkeõhu ülekande suhtarv, %
 t_{SP} – sissepuhkeõhu temperatuur peale tagastit (enne küttekalorifeeri), °C
 $t_{\delta V}$ – välisõhu temperatuur enne tagastit, °C
 t_{VT} – väljatõmbeõhu temperatuur enne tagastit, °C

See valem ei võta arvesse rootorsoojustagasti pöörlemisest tingitud õhu leket soojustagastusektsioonis.

1.3.3 Soojustagasti korrigeeritud temperatuuri suhtarv

Ventilatsiooniseadmetes toimub reeglina leke väljatõmbeõhu poolelt sissepuhkeõhu poolele, mis tõstab pärast soojustagastit mõõdetavat sissepuhkeõhu temperatuuri. Selleks, et välistada sissepuhkeõhu temperatuuritõusu, mis on tingitud väljatõmbeõhu sattumisest sissepuhke poolele, tuleb soojustagasti temperatuuri suhtarvu arvutamisel võtta arvesse väljatõmbe ülekande suhtarv (EATR). Soojustagasti korrigeeritud temperatuuri suhtarvu arvutus on vajalik ainult juhul, kui arvatud EATR väärtus ületab 3%. [13]

Soojustagastuse tegelikku efektiivsust määratletakse temperatuuri suhtarvu η_t ja soojustagastis toimuva lekke suuruse (EATR) alusel, mis on leitav valemiga (1.4) [13]:

$$\eta_{t,net} = \frac{\left(\frac{t_{SP} - EATR * t_{VT}}{1 - EATR} * t_{\delta V} \right)}{(t_{VT} - t_{\delta V})} \quad (1.4)$$

kus $\eta_{t,net}$ – temperatuuri suhtarv sissepuhke järgi, -
 t_{SP} – sissepuhkeõhu temperatuur peale tagastit, °C
 $t_{\delta V}$ – õhuvõtu temperatuur, °C
 t_{VT} – väljatõmbeõhu temperatuur, °C
 $EATR$ – väljapuhkeõhu ülekande suhtarv, %

1.4 Varasemad uurimused

Lõputöö eesmärgiks on uurida soojustagastite vigu ning nende mõju soojustagasti efektiivsusele ja soojustarbele. Kuna soojustagastid ning nende energiaefektiivsus on üks olulisemaid energiasäästu võimalusi ventilatsioonisüsteemis, siis varasemalt on soojustagastite teemadel viidud läbi järgmised uurimustööd:

Andres Tukia magistritöö „Ventilatsiooniseadmete soojustagastite efektiivsus, selle hindamine ning mõju energiakasutusele“ analüüsis ventilatsiooniseadmetes kasutatavate soojustagastite efektiivsust ning millist mõju omab erinevate arvutusmetoodikate kasutamine soojustagasti efektiivsusele. Selgus, et sissepuhkeõhu ning väljatõmbeõhu järgi arvatud soojustagasti temperatuuri suhtarvud võivad üksteisest erineda olulisel määral. Enamasti on see tingitud temperatuuriandurite valest paiknemisest, õhuleketest ventilatsiooniseadmes ning erinevates õhuvooluhulkadest sissepuhke- ja väljatõmbeõhu poolel. Erinevate lahenduste analüüsimisel selgus, et soojustagasti efektiivsuse arvutamiseks on kõige otstarbekam kasutada NTU meetodit. NTU meetodi eeliseks on, et see võimaldab vastavalt tegelikule olukorrale korrigeerida tootja poolt esitatud soojustagasti efektiivsust. Magistritöö järeldusest saab öelda, et soojustagasti tehnilise korrasoleku järjepidev monitoorimine omab olulist mõju ventilatsioonisüsteemi energiatõhususele.

Käesolevas magistritöös uuritakse millised vead võivad tekkida soojustagastites ning milline on erinevate vigade mõju soojustagastite energiaefektiivsusele ning soojustarbele.

2. KATSED JA MÕÕTMISED

Antud magistritöö teema on valitud Tallinna Tehnika Ülikooli Liginullenergiahoonete uurimusrühma ja Ruut8 OÜ koostöös tehtava „Masinõppel ja reegli põhisel veatuvastusel põhinevad automaatsed meetodid ventilatsiooniseadmete efektiivsuse suurendamiseks“ uurimusprojekti põhjal. Eesmärk on panustada Tallinna Tehnikaülikooli ja Ruut8 OÜ ühisesse uurimusprojekti, kogudes vajalike mõõteandmeid ventilatsiooniseadmetest, luues erinevaid füüsilisi vigu soojutagastitele.

Lisaks on tõusnud päevakorda paigaldatud ja töötava seadme soojutagastite efektiivsuse hindamise meetodika. Varasemalt vähem, kuid täna tõsiselt päevakorda tõusnud soojutagasti sektsiooni lekke hindamine ja selle mõju soojutagasti efektiivsusele on varem jäänud üldjuhul tähelepanuta. Seoses COVID-19 pandeemiaga pööratakse aina rohkem tähelepanu sissepuhkeõhu kvaliteedile ning sellest tingitult ka õigesuunalisele lekkele soojutagastis sektsioonis ning sellest tulenevalt lekke mõjust soojutagasti energiaefektiivsusele ning soojustarbele. Vale suunaline leke mõjutab olulisel määral sissepuhutavaõhu kvaliteeti, kui ka soojutagasti efektiivsust ning soojustarvet ventilatsiooniseadmele. Kuigi teoreetiliselt on vale suunalise ehk väljatõmbelt sissepuhke poole oleval lekkel pigem soojustarbele positiivne mõju, siis õhukvaliteedi, puhtuse ning bakterite leviku poolelt jällegi negatiivne mõju. Kuna leke soojutagastis on mitte tahtlik õhkude segunemine, siis paigaldatud ventilatsiooniseadmetel tuleb leke seadistada ikkagi selliselt, et see ei ületaks rootorsoojutagastil 5% (üle 5% leke mõjutab oluliselt kogu ventilatsioonisüsteemi toimivust) ja plaatsoojutagastitel 1%. Kehvasti projekteeritud või ebatihedatel seadmetel võib vale leke olla rootorsoojutagasti sektsioonis lausa 10-20%, millest tulenevalt (oleneb lekke suunast), kas saastub sissepuhkeõhk olulisel määral või langeb oluliselt soojutagasti efektiivsus ning tõuseb soojustarve.

Soojutagastis toimuv leke ja selle õige suund on eriti oluline hoonetes, kus on tähtis, et väljatõmbe- ja sissepuhkeõhk üldse ei seguneks, nagu näiteks keemia- ja mikrobioloogilaborites, köökides või haiglate operatsioonisaalides.

2.1 Eesmärk

Lõputöö eesmärgiks on leida seoseid erinevate soojutagastite vigade ja nendest tulenevalt soojutagastite energiaefektiivsuse muutuste vahel, et oleks võimalik tuvastada võimalikult kiiresti ja varajases staadiumis tekkinud viga soojutagastil.

Selleks tekitati lõputöö raames soojustagastitele erinevaid vigu. Katsete käigus piirati rootorsoojustagasti pöörlemiskiirust, millega jälgendati rootoririhma libisemist. Teibiti soojustagasti pindasid, millega jälgendati soojustagasti mustumist. Avati plaatsoojustagasti möödaviigu klappi, millega jälgendati klapitöö rikkeid ja mitte täieliku sulgumist. Mõõdeti soojustagastite lekkeid erinevate sissepuhke ja väljatõmbe poolte rõhkude vahega ning analüüsiti selle mõju soojustagasti efektiivsusele.

2.2 Mõõtmised ja metoodika

Lõputöö raames on uuritud kahte tüüpi soojustagasteid. Põhiline uurimus viidi läbi Tallinna Tehnikaülikooli pereelamus (Akadeemia tee 5a) keldrikorruse SV4 ja SV11 ventilatsiooniseadmete põhjal. SV4 seadmel on rootorsoojustagasti. SV11 seadmel plaatsoojustagasti. Lisaks uuriti Tallinn tehnikaülikooli Ehituse Mäemaja (Mäepealse 3) hoones SV9 ventilatsiooniseadme rootorsoojustagasti temperatuuri suhtarvu, et oleks võimalik võrrelda SV4 seadme rootorsoojustagasti temperatuuri suhtarvu arvutustulemusi. Seadmete töö parameetrid on võetud ja alla laaditud hooneautomaatika ehk BMS programmist, andmed on mõõdetud ventilatsiooniseadme tehasetootja poolsete anduritega. Lisaks on lõputöö raames lisatud SV4, SV9 ja SV11 seadmetele temperatuuriandurid (HOBO) enne ja pärast soojustagastit (kokku 4 andurit), mille lugemid on logitud ja salvestatud HOBO andmelogeritesse ning konverteeritud hiljem Excel faili. Kuna SV11 sissepuhke ventilaatoril puudus tehasepoolne rõhuandur, siis on lisatud ka ajutine rõhuandur SV11 seadme sissepuhkele, millega mõõdeti sissepuhke rõhku ventilaatoris ning mille põhjal arvutati sissepuhke õhuhulk. Analüüsitud ja kogutud andmete mõõtmised on teostatud alates veebruar 2021a kuni aprill 2021a.

Lõputöö raames mõõdeti, koguti ning analüüsiti järgmiseid andmeid ventilatsiooniseadme soojustagasti kohta:

1. Soojustagasti temperatuuri suhtarv sissepuhke järgi, võrdsetel õhuhulkadel
2. Soojustagasti sektsioonis toimuva lekke määramine temperatuuride põhjal
3. Soojustagasti sektsioonis toimuva lekke määramine märkegaasi meetodil
4. Temperatuuride põhjal soojustagasti lekke hindamise meetodi valideerimine märkegaasi meetodiga
5. Soojustagasti korrigeeritud temperatuuri suhtarv võttes arvesse leket soojustagastis.

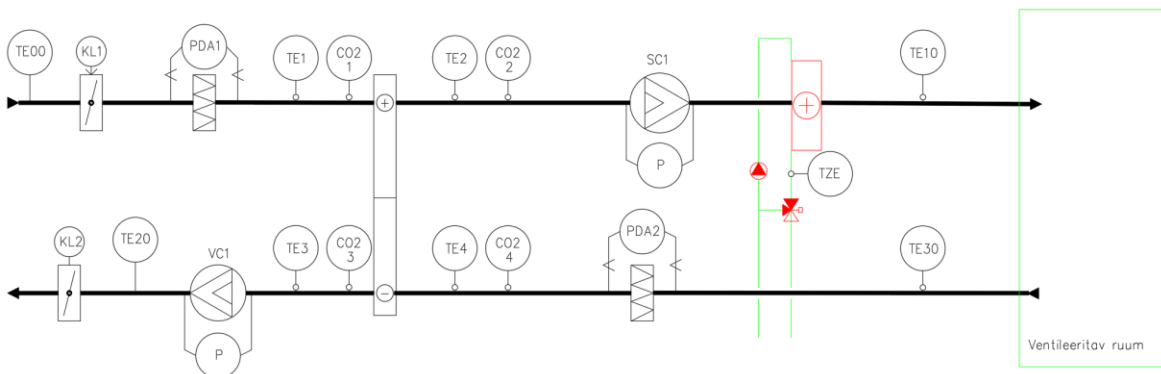
Enne ja pärast soojustagastit temperatuuride mõõtmiseks ja salvestamiseks kasutati HOBO andureid ja HOBO UX120-006M seadmeid. CO₂ ehk süsihappegaasi kontsentratsiooni mõõtmiseks ventilatsioonisüsteemis ning andmete salvestamiseks kasutati HOBO MX1102A seadmeid.

2.2.1 Ventilatsiooniseade SV4

Ventilatsiooniseade SV4 on projekteeritud teenindamaks akadeemia tee 5A keldrikorrusel asuvat õppeklassi. Seadme projekteeritud õhuhulgaks 0.20 m³/s. Seade on valitud rootorsoojustagastusega, mille temperatuuri suhtarv (EN308 põhjal) on 89,1%. Ventilatsiooniseadme elektritarve, SFPv on 1,35 kW/(m³/s). Projekteeritud lisaküte ehk ventilatsiooniseadme küttekalorifeeri võimsus on 1,9 kW.

Ventilatsiooniseadme SV4 seadmesiseste andurite ja mõõtmiste jaoks lisaks paigaldatud mõõteandurite skeemi vt. Joonis 10.

TUNNUS	NIMETUS	TUNNUS	NIMETUS
KL1	Õhuvõtu klapp	TZE	Küümiskaitse
KL2	Väljaviske klapp	TE1	Paigaldatud õhuvõtu temperatuuriandur
PDA1	Õhuvõtu filtri rõhuandur	TE2	Paigaldatud sissepuhke temperatuuriandur
PDA2	Väljatõmbe filtri rõhuandur	TE3	Paigaldatud väljaviske temperatuuriandur
SC1	Sissepuhke ventilaator	TE4	Paigaldatud väljatõmbe temperatuuriandur
VC1	Väljatõmbe ventilaator	CO2-1	Paigaldatud õhuvõtu süsihappegaasiandur
TE00	Tehase poolne õhuvõtu temperatuuriandur	CO2-2	Paigaldatud sissepuhke süsihappegaasiandur
TE10	Tehase poolne sissepuhke temperatuuriandur	CO2-3	Paigaldatud väljaviske süsihappegaasiandur
TE20	Tehase poolne väljaviske temperatuuriandur	CO2-4	Paigaldatud väljatõmbe süsihappegaasiandur
TE30	Tehase poolne väljatõmbe temperatuuriandur		



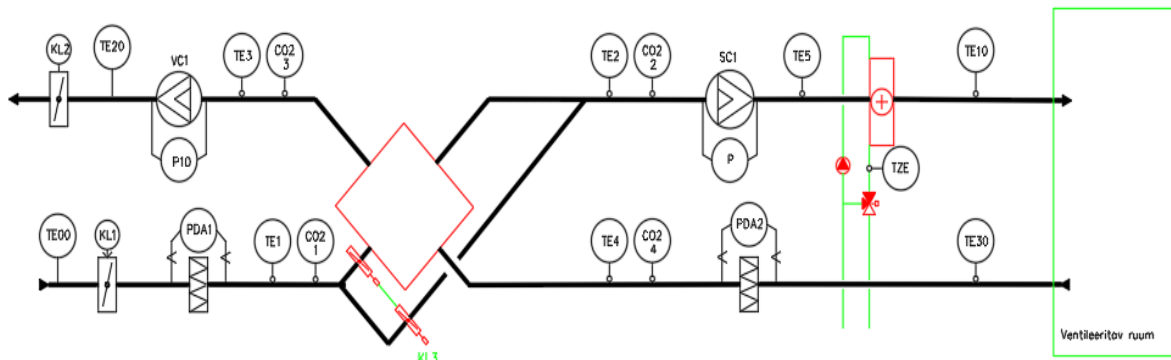
Joonis 10. SV4 andurite paiknemisskeem

2.2.2 Ventilatsiooniseade SV11

Ventilatsiooniseade SV11 on projekteeritud teenindamiseks akadeemia tee 5A keldrikorruse üldkasutatavaid ruume. Seadme projekteeritud õhuhulgaks sissepuhkel on 0,56 m³/s ja väljatõmbel 0,50 m³/s. Seade on valitud plaatsoojustagastusega, mille temperatuuri suhtarv (EN308 põhjal) on 87,7%. Ventilatsiooniseadme elektritarve, SFPv on 1,62 kW/(m³/s). Projekteeritud lisaküte ehk ventilatsiooniseadme küttekalorifeeri võimsus on 14,5 kW.

Ventilatsiooniseadme SV11 seadmesiseste andurite ja mõõtmiste jaoks lisaks paigaldatud mõõteandurite skeemi vt. Joonis 11.

TUNNUS	NIMETUS	TUNNUS	NIMETUS
KL1	Õhuvõtu klapp	TZE	Küümiskaitse
KL2	Väljaviske klapp	TE1	Paigaldatud õhuvõtu temperatuuriandur
KL3	Möödaviiguklapp	TE2	Paigaldatud sissepuhke temperatuuriandur
PDA1	Õhuvõtu filtri rõhuandur	TE3	Paigaldatud väljaviske temperatuuriandur
PDA2	Väljatõmbe filtri rõhuandur	TE4	Paigaldatud väljatõmbe temperatuuriandur
SC1	Sissepuhke ventilaator	TE5	Paigaldatud sissepuhke temperatuuriandur peale ventilaatorit
VC1	Väljatõmbe ventilaator	CO2-1	Paigaldatud õhuvõtu süsihappegaasiandur
TE00	Tehase poolne õhuvõtu temperatuuriandur	CO2-2	Paigaldatud sissepuhke süsihappegaasiandur
TE10	Tehase poolne sissepuhke temperatuuriandur	CO2-3	Paigaldatud väljaviske süsihappegaasiandur
TE20	Tehase poolne väljaviske temperatuuriandur	CO2-4	Paigaldatud väljatõmbe süsihappegaasiandur
TE30	Tehase poolne väljatõmbe temperatuuriandur		



Joonis 11. SV11 andurite paiknemisskeem

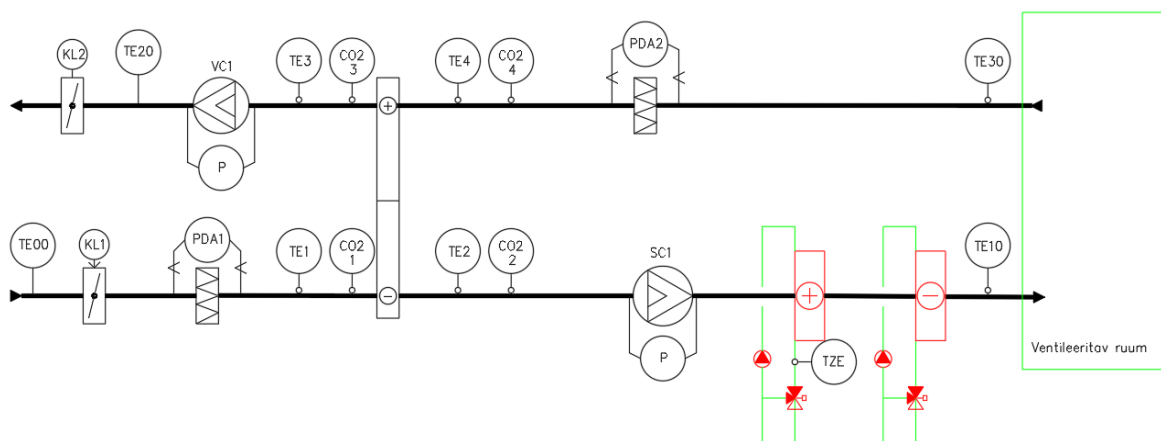
2.2.3 Ventilatsiooniseade SV9

Ventilatsiooniseade SV9 on projekteeritud teenindamiseks Mäepealse 3 (Ehituse Mäemaja) hoone 2. korruse sisekliima laborit. Seadme projekteeritud õhuhulgaks sissepuhkel on 180 l/s ja väljatõmbel 180 l/s. Lisaks katsetati ja mõõdeti seadme soojustagasti tööd 300 l/s õhuhulkade juures. Seade on valitud rootorsoojustagastusega, mille temperatuuri suhtarv (EN308 põhjal) on 91,2%.

Ventilatsiooniseadme elektritarve, SFPv on 1,53 kW/(m³/s). Projekteeritud lisaküte ehk ventilatsiooniseadme küttekalorifeeri võimsus on 1,55 kW.

Ventilatsiooniseadme SV9 seadmesiseste andurite ja mõõtmiste jaoks lisaks paigaldatud mõõteandurite skeemi vt. Joonis 12.

TUNNUS	NIMETUS	TUNNUS	NIMETUS
KL1	Õhuvõtu klapp	TZE	Kütmiskaitse
KL2	Väljaviske klapp	TE1	Paigaldatud õhuvõtu temperatuuriandur
PDA1	Õhuvõtu filtri rõhuandur	TE2	Paigaldatud sissepuhke temperatuuriandur
PDA2	Väljatõmbe filtri rõhuandur	TE3	Paigaldatud väljaviske temperatuuriandur
SC1	Sissepuhke ventilaator	TE4	Paigaldatud väljatõmbe temperatuuriandur
VC1	Väljatõmbe ventilaator	CO2-1	Paigaldatud õhuvõtu süsihappegaasiandur
TE00	Tehase poolne õhuvõtu temperatuuriandur	CO2-2	Paigaldatud sissepuhke süsihappegaasiandur
TE10	Tehase poolne sissepuhke temperatuuriandur	CO2-3	Paigaldatud väljaviske süsihappegaasiandur
TE20	Tehase poolne väljaviske temperatuuriandur	CO2-4	Paigaldatud väljatõmbe süsihappegaasiandur
TE30	Tehase poolne väljatõmbe temperatuuriandur		



Joonis 12. SV9 andurite paiknemisskeem

2.2.4 Soojustagastite temperatuuri suhtarvu mõõtmise meetodika

Antud lõputöö raames on mõõdetud enne ja pärast soojustagastit õhutemperatuure, et arvutada välja soojustagastite temperatuuri suhtarv erinevate tekitatud vigade korral. Temperatuuri suhtarv on arvatud lihtsustatud meetodiga sissepuhkeõhu järgi, eeldades, et õhuvooluhulgad on võrdsed. Andurite mõõtepunktid ventilatsiooniseadmetes asuvad vastavalt Joonis 10, Joonis 11 ja Joonis 12 skeemil.

2.2.4.1 Soojustagastites mõõdetud ja tehase poolt deklareeritud temperatuuri suhtarvud

Lõputöö raames on mõõdetud ventilatsiooniseadmete soojustagastite temperatuuri suhtarvud mitmetes erinevates töörežiimides, kuid selleks, et oleks võimalik võrrelda tootjapoolt deklareeritud soojustagastite temperatuuri suhtarve, juba paigaldatud ja

kasutusele võetud seadmete soojustagastite temperatuuri suhtarvudega, tuleb seadme juhtpuldil soojustagasti panna käsijuhtimisele ja 100% töörežiimile. Sellisel juhul, kui ventilatsiooniseadme juhtautomaatika ütleb soojusvahetile, et sissepuhke temperatuur on saavutanud etteantud temperatuuri, ei lülita soojusvaheti end välja või lähe osakoormusele. Juhul, kui töörežiimiks jäetakse "auto" režiimi ehk automaatika poolt juhitud režiimi, siis tuleb analüüsitavares andmetes olla väga tähelepanelik kas soojustagasti töörežiim on olnud 100% või madalam.

Selleks, et saada võimalikud täpsed mõõtetulemused, tuleb valida hoolikalt temperatuuriandurite mõõtepunkte. Mõõtepunkt peaks asuma võimalikult soojusvaheti ligidal ja õhuliikumise tsoonis, samuti tuleb arvestada, et soojustagastit läbiv õhk jõuaks piisavalt seguneda (eriti plaatsoojustagastit läbiv ja möödaviigust mööda juhitud õhk). Samas ei tohiks mõõtepunkt olla peale sissepuhke või väljatõmbe ventilaatorit, kuna ventilaator ise võib tekitada temperatuuritõusu ligikaudu 1 °C võrra (temperatuuritõusu suurus oleneb ventilaatori võimsusest). Lisaks tuleb jälgida, et mõõtepunkt ei asuks liiga lähedal kütte- või jahutuskalorifeeri juures, kus kalorifeeri tunduvalt kõrgem või madalam pinnatemperatuur võib hakata mõjutama kiirguslikul teel mõõtepunkti andurit.

Antud lõputöö raames on võrreldud SV4, SV9 ja SV11 ventilatsiooniseadme soojustagasti temperatuur suhtarvu arvatud tulemustega ja tootjapoolt deklareeritud tulemustega. Juhul, kui väljatõmbe ja sissepuhke õhuhulgad on erinevad, siis selleks, et võrrelda teaduslikus võtmes tootja poolt deklareeritud temperatuuri suhtarvu, juba paigaldatud seadme tegelikku mõõdetud temperatuuri suhtarvuga, tuleks leida temperatuuri suhtarv NTU meetodiga, kus arvutustes võetakse arvesse ventilatsiooniseadme tegelikud õhuvooluhulgad ning mõõdetud temperatuurid enne ja pärast soojustagastit.

2.2.4.2 Mustuse jäljendamine teipimise teel

Soojusvaheti mustumise jäljendamiseks teibiti SV4 ja SV11 ventilatsiooniseadme soojustagasti väljatõmbeõhu poolelt. Mustuse jäljendamist ja selle mõju mõõdeti kahes erinevas versioonis. Esimeses katses paigaldati SV4 seadme rootorsoojustagasti kärjele neli teibiriba, mõõtudega 50x380 mm (vt. Foto 2), mis kattis rootorsoojustagasti pinnast 24,4% ja SV11 seadme plaatsoojustagastile neli teibiriba mõõtudega 50x640 mm (vt. Foto 3), mis kattis plaatsoojustagasti pinnast 31,7%. Teises katses paigaldati SV4 soojustagasti kärjele kaks teibiriba mõõtudega 50x380 mm (vt. Foto 1), mis kattis rootorsoojustagasti pinnast 12,2% ja SV11 seadme plaatsoojustagastile kaks teibiriba mõõtudega 50x640 mm (vt. Foto 3), mis kattis soojustagasti pinnast 15,9%. Mõõtmised teostati mõlemal seadmepool

projekteeritud õhuhulkade juures ja mõõtmiste kestus oli 8 tundi. Ventilatsiooniseadme ventilaatorid korrigeerivad enda kiirust vastavalt rõhule ning etteantud õhuhulgale, seega suurenenud rõhk soojusvahetis ei mõjutanud seadme õhuhulkasi.

	Mõõt	Ühik
Rootorsoojusvaheti diameeter	630	mm
Rootorsoojusvaheti pindala	0,312	m ²
Rootor teibitud 2x50x380mm teibireaga		
Mustund pind rootorsoojusvahetil	12,2	%
Puhas pind rootorsoojusvahetil	87,8	%
Rootor teibitud 4x50x380mm teibireaga		
Mustund pind rootorsoojusvahetil	24,4	%
Puhas pind rootorsoojusvahetil	75,6	%

Tabel 1. Mustuse simuleerimine rootorsoojusvahetil

	Mõõt	Ühik
Plaatsoojusvaheti pinna mõõt	630x640	mm
Rootorsoojusvaheti pindala	0,403	m ²
Rootor teibitud 2x50x640 mm teibireaga		
Mustund pind rootorsoojusvahetil	15,9	%
Puhas pind rootorsoojusvahetil	84,1	%
Rootor teibitud 4x50x640 mm teibireaga		
Mustund pind rootorsoojusvahetil	31,7	%
Puhas pind rootorsoojusvahetil	68,3	%

Tabel 2. Mustuse simuleerimine plaatsoojusvahetil



Foto 1. Rootorsoojusvaheti teipimine



Foto 2. Rootorsoojusvaheti teipimine



Foto 3. Plaatsoojusvaheti teipimine

2.2.4.3 Plaatsoojustagasti sulg-möödaviiguklapi mitte korrektne sulgumine

SV11 ventilatsiooniseadme plaatsoojustagasti sulg-möödaviiguklapi mitte korrektseks sulgumiseks seadistati klapitöö juhtpuldil käsijuhtimisele ning määrati sulgklapi ajamile erinevaid asendeid, millega simuleeriti möödaviiguklapi mitte korrektset sulgumist erinevates asendites ning hinnati selle mõju soojustagasti efektiivsusele. Soojustagasti ees paiknev sulg-möödaviiguklapp töötab ühtse klapina ning puudub võimalus eraldi sektsioone reguleerida. Kui avatakse möödaviiguklappi, siis samal ajal piiratakse võrdväärset soojustagastisse minevat õhuhulka. Möödaviiguklapile määrati erinevaid asendeid ning igal mõõtmisel mõõdeti õhutemperatuure enne ja pärast soojustagastit, lisaks arvutati soojustagasti efektiivsus vastavalt valemile 1.1. Mõõtmised teostati SV11 seadmel projekteeritud õhuhulkade juures ja mõõtmise kestus oli 8 tundi.

2.2.4.4 Rotorsoojusvaheti rihma libisemise jäljendamine seadistades soojustagasti tööle erinevatele osakoormustele

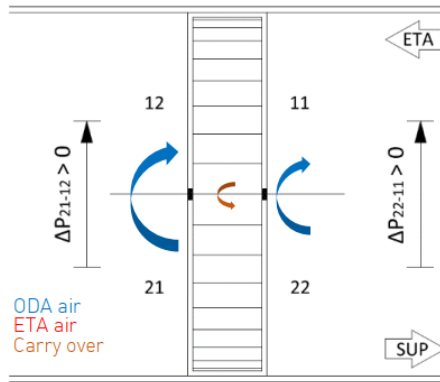
SV4 ja SV9 ventilatsiooniseadme rotorsoojusvaheti rihma libisemise jäljendamiseks muudeti soojusvaheti pöörlemiskiiruseid ehk pandi soojustagasti tööle osakoormusel ning mõõdeti erinevate pöörlemiskiiruste puhul soojustagasti energiaefektiivsust. Kiiruste muutmine teostati seadme juhtpuldil, määraes soojusvaheti käsi režiimile ning seadistades soojusvaheti pöörlemiskiiruseid 40-100% kiirusrežiimide vahel. Katsete käigus muudeti kiiruseid 10% astmetena.

2.2.5 Soojustagasti sektsiooni lekke arvutamise meetodika

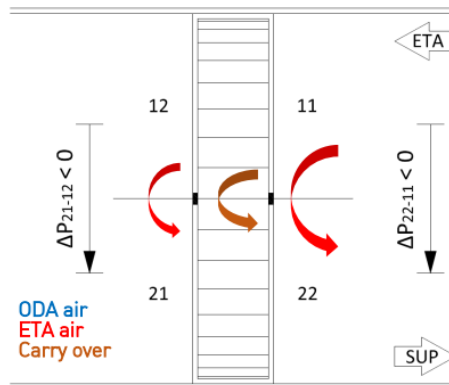
Selleks, et leida ja kontrollida ventilatsiooniseadmete soojustagastite sektsioonis toimuvat leket ning mõõta selle mõju soojustagastite energiaefektiivsusele on antud lõputöös mõõdetud soojustagastite leket kahe erineva meetodikaga. Lekkeid soojustagastites on mõõdetud temperatuuride põhjal ja märkegaasi ehk süsihappegaasi kontsentratsiooni põhjal. Lisaks on mõõdetud väljatõmbe ja sissepuhke poolte rõhkude vahed enne soojustagastit.

2.2.5.1 Lekke suund positiivse ja negatiivse rõhkude vahe korral

Arvutustes on võetud õige suunaline leke ehk väljatõmbelt sissepuhke poolele ($\Delta P_{22} - P_{11} > 0$) toimuv leke positiivse rõhkude vahega. Kui aga leke toimub valet pidi suunaga ehk väljatõmbelt sissepuhke poolele on arvutustes näidatud rõhkude vahe negatiivse arvuna ($\Delta P_{22} - P_{11} < 0$).



Joonis 13. Positiivne rõhkude vahe, ΔP_{22-11} [13]



Joonis 14. Negatiivne rõhkude vahe, ΔP_{22-11} [13]

2.2.5.2 Soojustagasti sektsiooni lekke arvutamise meetodika temperatuuride põhjal

Roorsoojustagastite puhul, et mõõta soojustagasti sektsioonis toimuvat leket temperatuuride põhjal, tuleb mõõta temperatuure enne ja pärast soojustagastit. Selleks, et oleks võimalik määrata lekke suurus tuleb ventilatsiooniseade jätta tööle projekteeritud õhuhulkadele ja normaaltöö režiimi, kuid seisata tuleb rootori töö. Leke suurus väljatõmbe-sissepuhke sektsioonis määratakse vastavalt EATR valemile. Õhuvõtu-väljaviske sektsioonis vastavalt OACF valemile.

Ventilatsiooniseadmes paigaldati temperatuuriandurid vahetult enne ja pärast soojustagastit. Lekke suuna määramiseks mõõdeti rõhkude vahet väljatõmbe ja sissepuhke pooltel. Roorsoojustagasti sektsiooni lekete mõõtmisi teostati ventilatsiooniseadmetes SV4 ja SV9. Mõõtmise kestus oli 8 tundi.

SV4 seadmel teostati lekke mõõtmisi erinevate sissepuhke ja väljatõmbe rõhkude vahega. Rõhkude muutmiseks väljatõmbe poolel teibiti väljatõmbe filtrit (vt. Foto 4) vastavalt sellele, kui suurt lisarõhku sooviti väljatõmbe poolele tekitada.



Foto 4. Filtri teipimine, et tõsta väljatõmbe poolel rõhku

Plaatsoojustagasti puhul, et mõõta soojustagasti sektsioonis toimuvat lekete, tuleb soojustagasti ees olev sulgklapp sulgeda täielikult ning juhtida sissepuhutav õhk soojustagastist mööda. Selleks tuleb seadme juhtpuldil soojustagasti välja lülitada, et ei toimuks soojustagastust läbi soojusvaheti. Plaatsoojustagasti sektsiooni lekete mõõtmise teostati ventilatsiooniseadmes SV11. Mõõtmise kestus oli 8 tundi.

2.2.5.3 Soojustagasti sektsiooni lekete arvutamise meetodika märkegaasi põhjal

Ventilatsiooniseadmes toimuva lekete mõõtmiseks ning temperatuuride põhjal arvutatud lekete tulemuste kontrollimiseks ja võrdlemiseks teostati lekete mõõtmine märkegaasiga. Märkegaasiks kasutati süsihappegaasi (CO₂). Märkegaasiga teostati kahes variandis mõõtmisi, kus märkegaasi lasti ühel juhul pidevalt õhuvõtu torusse ning teisel juhul väljatõmbe torusse. Märkegaasi vooluhulgaks, mis lasti ventilatsioonisüsteemi oli vooluhulga mõõteskaala järgi ligikaudu 25 l/min. Katse kestus oli 30 minutit. Katset teostati seisva rootorsoojusvahetiga ning 100% töötava rootorsoojusvahetiga, et tuvastada lisaks soojustagastus sektsioonis toimuvale leketele ka rootorsoojusvaheti pöörlemisest tingitud lekete. Katse käigus mõõdeti vahetult enne ja pärast soojustagastit nii sissepuhke, kui väljatõmbe poolel süsihappegaasi kontsentratsiooni (ppm) õhus. Oluline on mõõta ka süsihappegaasi kontsentratsiooni sisaldust õhus enne katsete alustamist.

Arvutustulemuste jaoks kaaluti enne ja pärast mõõtmist süsihappegaasi balooni, et saada täpne kulutatud süsihappegaasi kogus.

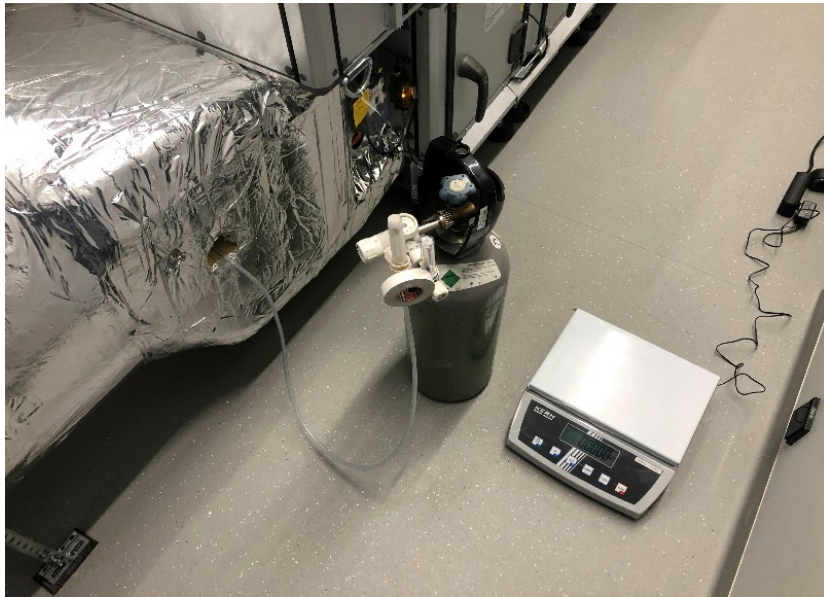


Foto 5. Märkegaasiga lekke mõõtmine

Soojustagasti seksioonis toimuvat leket ΔP_{22-11} määratletakse süsihappegaasi kontsentratsiooni (CO_2) suhtarvu $EATR_{\text{CO}_2}$ alusel. Soojustagastis toimuvat lekke suurust näitab sissepuhke järgi leitud kontsentratsiooni suhtarv $EATR_{\text{CO}_2}$, mis on leitav valemiga (2.1):

$$EATR_{\text{CO}_2} = \frac{(CO_{2,vv} - CO_{2,vT})}{(CO_{2,0v} - CO_{2,vT})} \quad (2.1)$$

kus $EATR_{\text{CO}_2}$ – väljapuhkeõhu CO_2 kontsentratsiooni ülekande suhtarv, %

$\text{CO}_{2,vv}$ – väljaviskeõhu CO_2 kontsentratsioon, ppm

$\text{CO}_{2,vT}$ – väljatõmbeõhu CO_2 kontsentratsioon, ppm

$\text{CO}_{2,0v}$ – õhuvõtu CO_2 kontsentratsioon, ppm

3. TULEMUSED JA ANALÜÜS

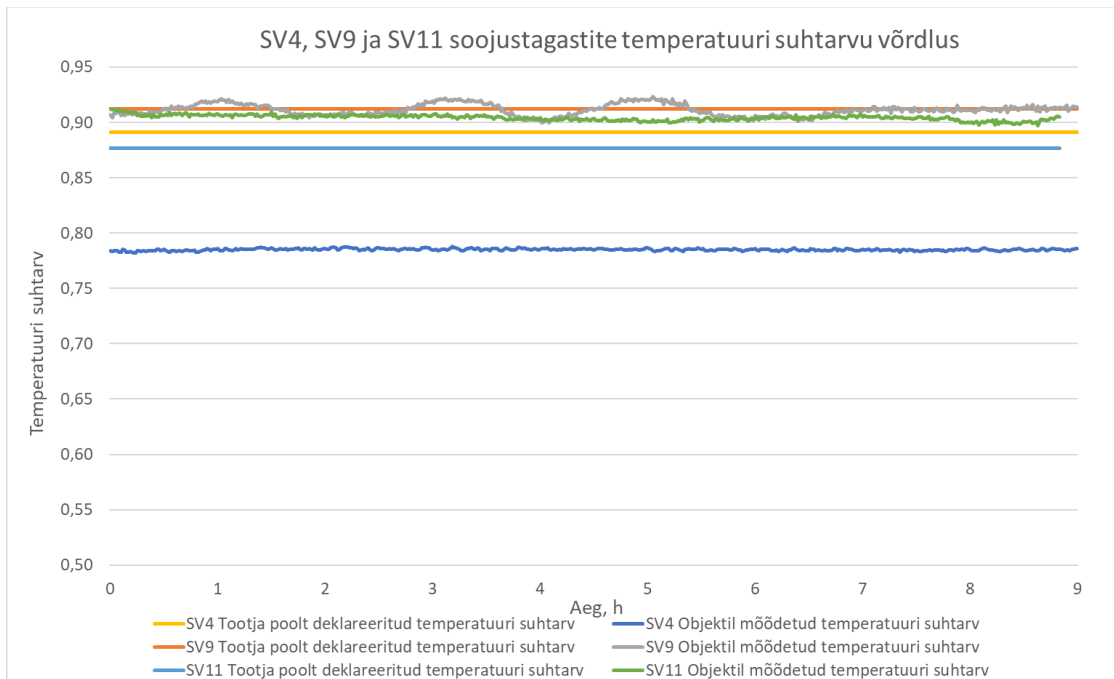
3.1 Mõõtetulemused ja analüüs

3.1.1 Soojustagastites mõõdetud ja tehase poolt deklareeritud temperatuuri suhtarvud

Tootja poolt deklareeritud temperatuuri suhtarvud ühtivad suuresti mõõdetud temperatuuri suhtarvu tulemustega. Kui SV9 soojustagasti temperatuuri suhtarv on mõõteandmete järgi väga ligilähedased deklareeritud andmetele, siis SV4 mõõdetud soojustagasti temperatuuri suhtarv on ligikaudu 12% madalam tootja poolt deklareeritud tulemusest (vt. Joonis 15). Seda erinevust saab selgitada üpris suure lekkega ning sissepuhke ja väljatõmbe poolte rõhkude vahega SV4 soojustagastis. SV11 seadme temperatuuri suhtarv on keskmiselt 3% kõrgem kui tootja poolt deklareeritud temperatuuri suhtarv. Arvestades mõõtmiste lõpus tuvastatud ebatihedusi plaatsoojustagastis, siis näiliselt paremat temperatuuri suhtarvu saab selgitada soojustagasti väljatõmbe-sissepuhke pooltel toimuva lekkega.

Töös kasutatud soojustagasti temperatuuri suhtarv on leitud vastavalt valemile 1.1. Kontrollitud on ka soojustagasti temperatuuri suhtarvu väljatõmbe järgi, mis üldjuhul annab 3-5% madalama tulemuse (sõltub lekke suuruselt, ΔP_{21-12}), kui sissepuhke järgi mõõdetud tulemused. Põhjuseks on oluliselt suurem leke õhuvõtu ja väljaviske pooltel rootorsoojustagastis sektsioonis. Tavaliselt väljaviske ja õhuvõtu poolte leket ei reguleerita ega seadistata erinevalt sissepuhke ja väljatõmbe pooltest.

Lõputöös kogutud mõõteandmete põhjal võib järeldada, et mõõdetud soojustagasti temperatuuri suhtarv, ei iseloomusta ainult soojustagasti energiaefektiivsust, vaid on mõjutatud väljatõmbe ja sissepuhke pooltel toimuvatest leketest. Mõõtmiste käigus selgus, et tootja poolt deklareeritud seadmesisesed lekete suurused ei vasta tegelikkusele ning on oluliselt suuremad, kui lubatud. Mõõteandmetest selgub, et seadmesisesed lekkes jäävad keskmiselt 10-20% juurde, kuid võivad olla isegi kuni 30% (vt. pt.3.1.7.3). Seega seadmesisesed lekkes mõjutavad oluliselt mõõdetavaid temperatuure ja nende põhjal arvutatavat temperatuuri suhtarvu. Täpsete tulemuste saamiseks tuleks temperatuuri suhtarvu arvutuses võtta arvesse lekke suuruseid ja õhuvooluhulkasi.



Joonis 15. SV4, SV9 ja SV11 mõõdetud ja tootja poolt deklareeritud temperatuuride suhtarvu võrdlus

3.1.2 SV11 plaatsoojustagasti mõõtetulemused temperatuuride suhtarvu põhjal

SV11 seadme plaatsoojustagastile temperatuuri suhtarvu mõõtmistel ja andmete analüüsimisel selgus, et sissepuhke poolel (pärast tagastit) on väga oluline anduri paiknemise asukoht, mis võib oluliselt mõjutada mõõdetavate temperatuuride mõõteandmeid. Põhjuseks on pärast soojusvahetit asuva sektsiooni osa pikkus, mis on piisavalt lühike, kuid sügav ning seega õhk ei jõua täielikult seguneda enne ventilaatorisse minemist. Mõõtes õhu parameetreid, mis pole jõudnud täielikult seguneda, siis saadavad mõõtetulemused ei anna tegelikule olukorrale vastavaid tulemusi. Antud seadme puhul teostati sissepuhkeõhu temperatuuri mõõtmisi mitmest erinevast punktist korraga, kuid mõõtepunktide tulemused oli liiga erinevad ning neid ei olnud omavahel võimalik võrrelda (vt. Joonis 16).

Sissepuhkes mõõdeti õhu temperatuure vahetult pärast soojustagastit, kuid enne ventilaatorit. Enne ventilaatorit, mõõdeti õhu temperatuure kahest erinevast punktist ning lisaks mõõdeti sissepuhke temperatuuri pärast ventilaatorit (vt. Foto 6). Ebaselgeid mõõtetulemusi saadi, sest temperatuuriandurid pärast soojustagastit oli paigaldatud kohta, kus anduri juurest mõõdetud mõõtepunkti temperatuuri mõjutasid juba mitu erinevat tegurit. Kui soojstgastit töötab osakoormusel, siis mõõdetud sissepuhke temperatuuride põhjal ei ole võimalik hinnata tegelikku sissepuhke järgi arvutatud temperatuuri suhtarvu tulemusi.

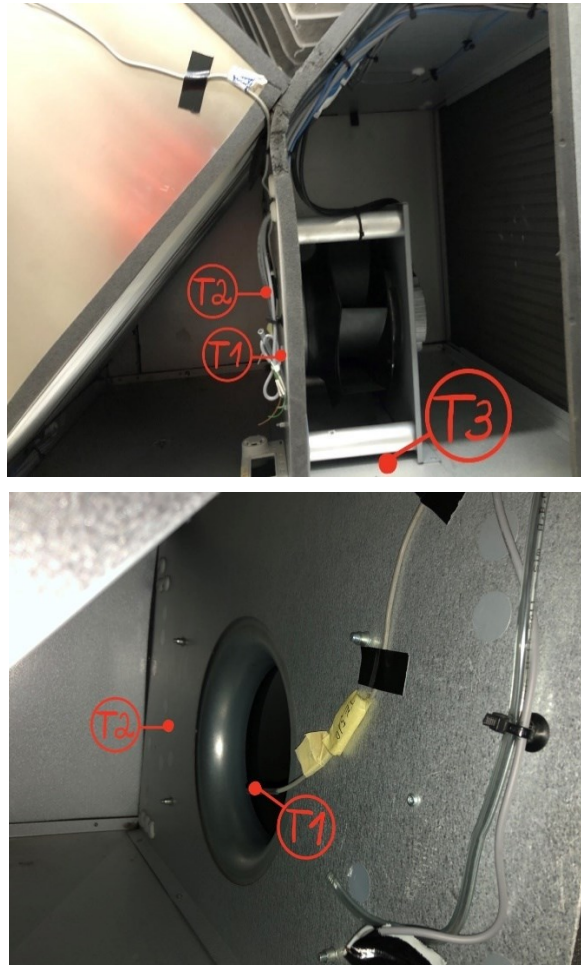
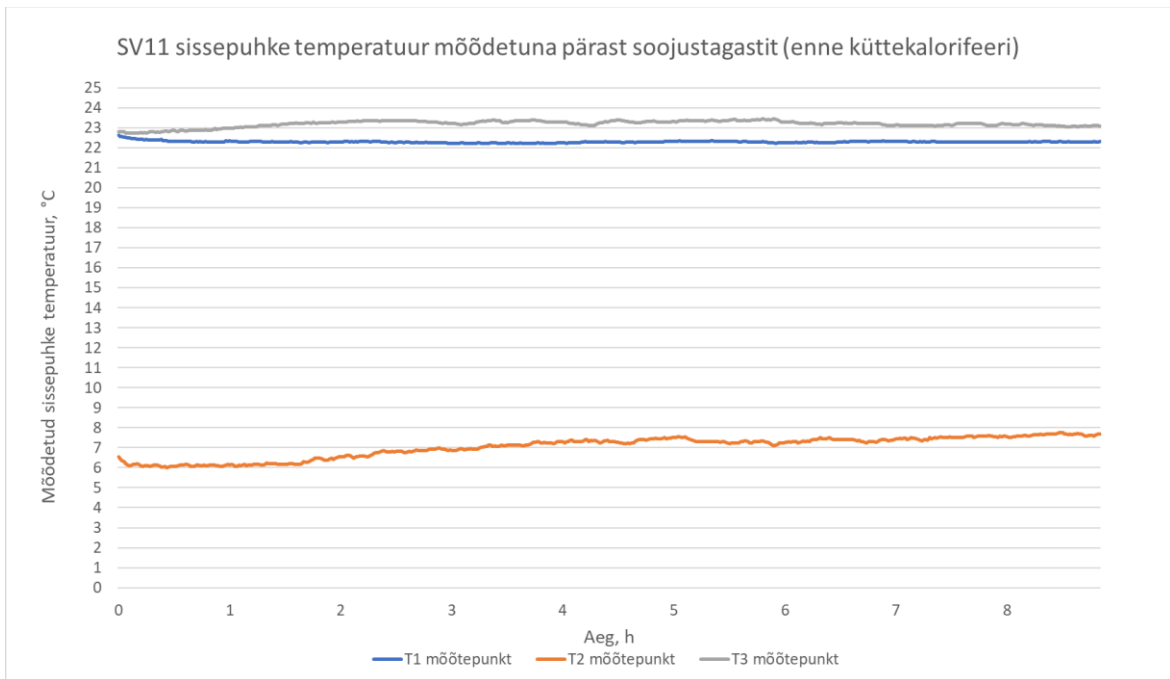


Foto 6. SV11 sissepuhke temperatuuriandurite paiknemine

Plaatsoojustagasti puhul tuleks kindlasti uurida ja leida kõige optimaalsem koht, kus teostada soojustagasti mõõtmisi temperatuuride põhjal. Seega on oluline plaatsoojustagastite puhul, et seadme tootja poolt või hiljem paigaldatud temperatuuriandur, millega mõõdetakse soojustagasti temperatuuri suhtarvu sissepuhke järgi oleks paigaldatud kohta, kus on toimunud piisav õhu segunemine ning õhu temperatuur poleks mõjutatud näiteks ventilaatori või küttekalorifeeri soojuseraldusest.

Joonis 16. on kujutatud sissepuhke temperatuure olukorras, kus soojustagasti töötas osakoormusel (möödaviikuklapp oli avatud 25%). 9 tunnise mõõtmise saadi T1 ja T2 keskmine temperatuuride vahe ligikaudu 15,3 °C. Selline temperatuuride vahe kahe erineva mõõtepunkti vahel on selge indikaator, et soojustagastit ja möödaviiku läbinud sissepuhkeõhk ei ole omavahel segunenud, enne ventilaatorisse jõudmist. T3 mõõtepunkti temperatuuri mõjutab ventilaatorist tingitud temperatuuritõus.

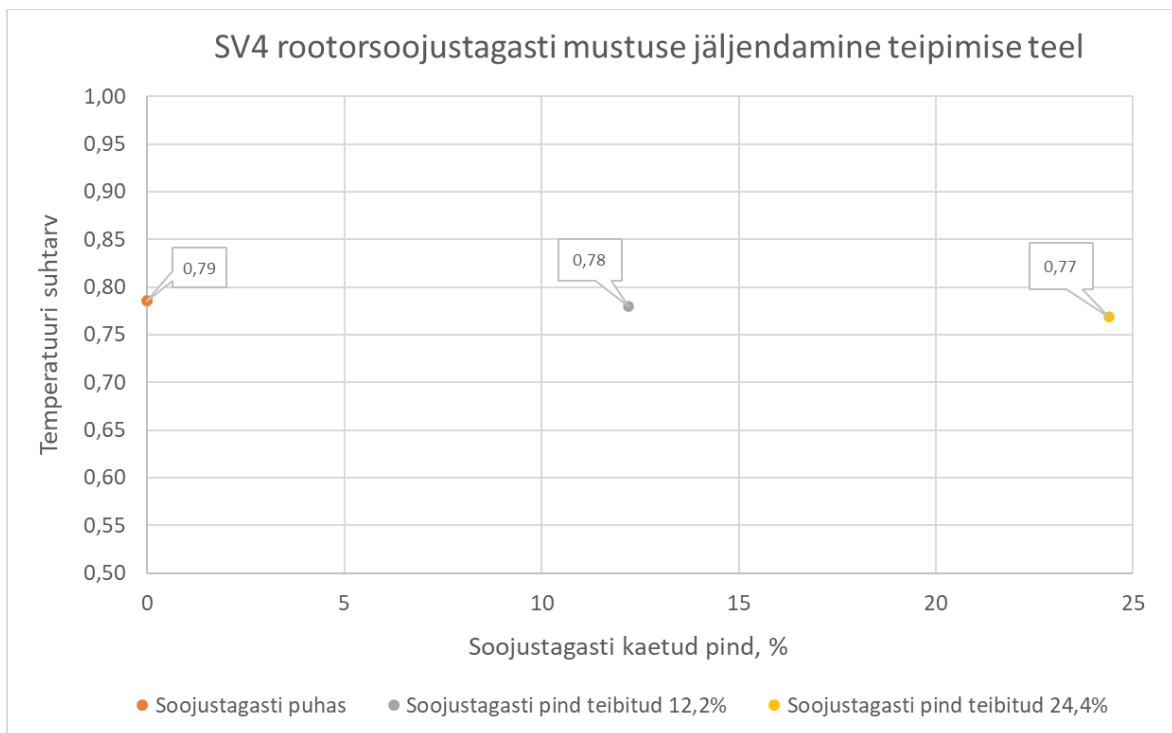


Joonis 16. Sissepuhke temperatuuride erinevused erinevates mõõtepunktides.

3.1.3 Roorsoojustagasti temperatuuri suhtarv teibitud pinnaga

Roorsoojusvaheti mustumine mõjutab selgelt soojusvaheti efektiivsust. Mida mustem on soojusvaheti kärje pind ning mida rohkem on õhuliikumine takistatud läbi kärjes olevate õhukanalite, seda väiksem on soojusvaheti efektiivsus. Mõõtetulemustest selgub, et kui soojustagasti pinnast on ligikaudu 10% kinni kaetud, väheneb soojustagasti temperatuuri suhtarvu 1% võrra. Kui kasuteguri langus on ligikaudu 1-2%, siis viitab sellele, et soojusvaheti võib olla mustunud 10-25% ja vajaks puhastamist. Kui soojustagasti temperatuuri suhtarv langeb 5% või rohkem, siis see viitab pigem soojustagasti pöörlemiskiirusest tingitud probleemidele, nt. soojusvaheti rihma libisemine.

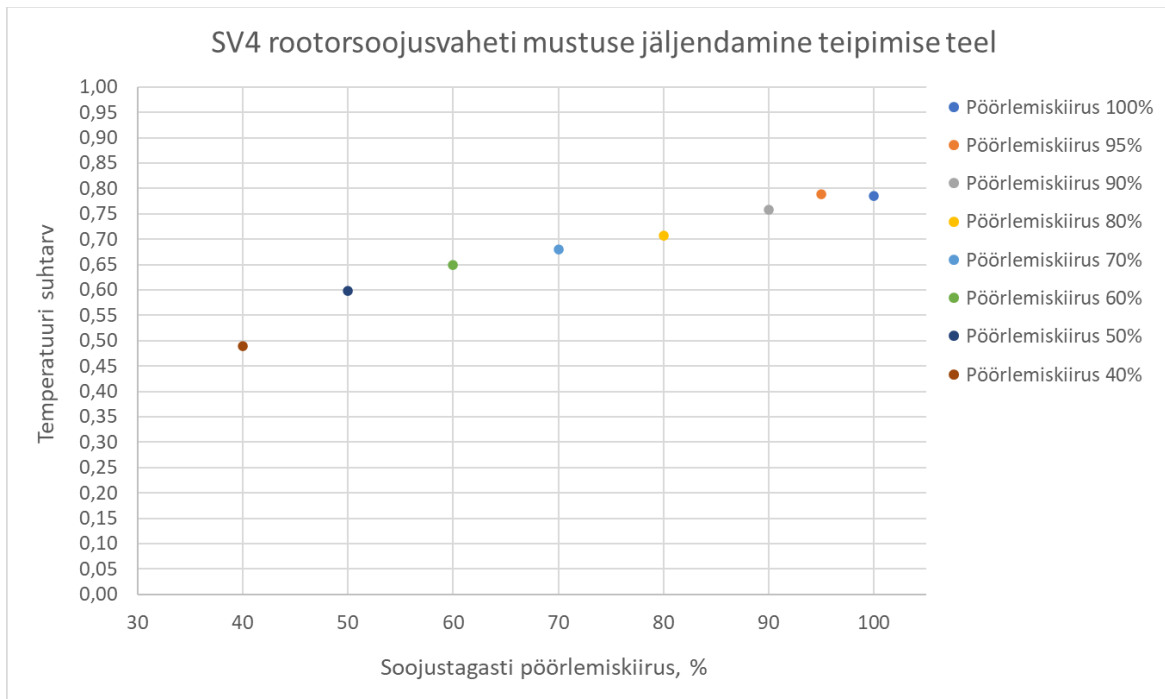
Juhul, kui vähendatakse soojustagasti pöörlemiskiirust ehk soojustagasti efektiivsust, siis tuleb arvutada välja arvutuslik temperatuuri suhtarv antud kiirusele ning hinnata tegelikku mõõdetud temperatuuri suhtarvu.



Joonis 17. SV4 rootorsoojusvaheti mustumine

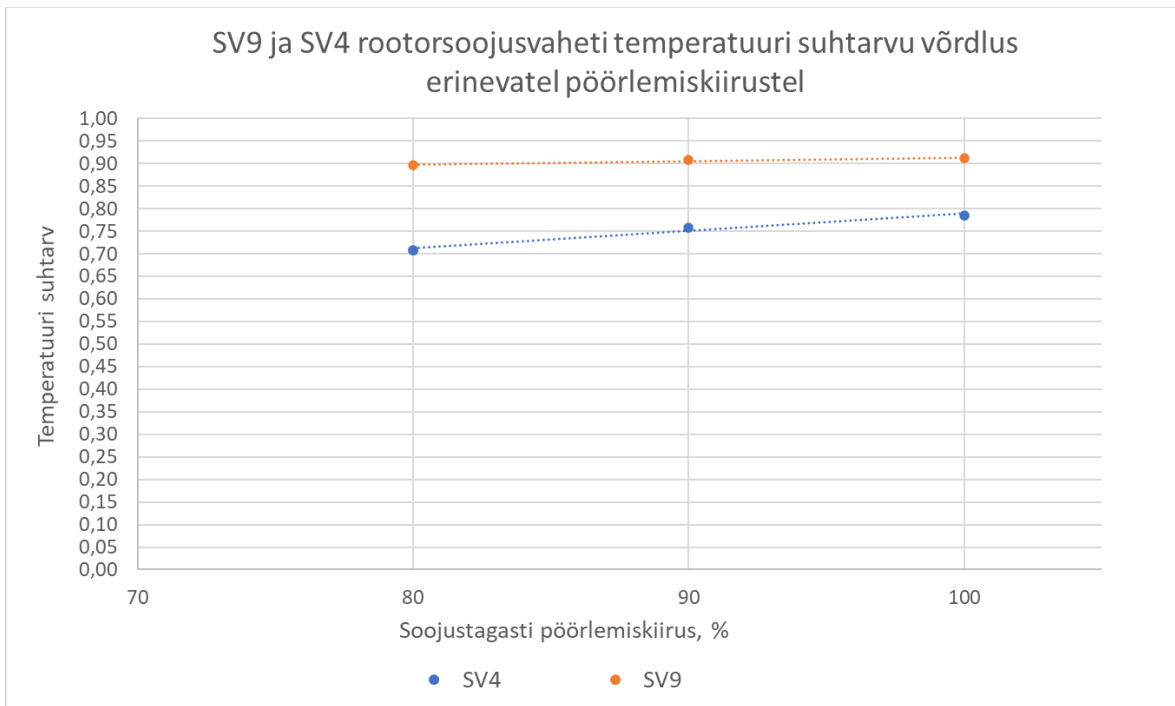
3.1.4 Rotorsoojustagasti rihma libisemine

Mõõtetulemustest selgub, et kui vähendada rootori pöörlemiskiirust 10%, siis soojustagasti temperatuuri suhtarv langeb ligikaudu 5% võrra (vt. Joonis 18). Siit saame järeldada, et kui rootoririhm on väljaveninud ning kontakt enam kas rootoriga või rootorit pöörlema paneva mootori hammasrattaga pole piisav, siis soojustagasti pöörlemine muutub ebaregulaarseks, mis võib langetada oluliselt soojustagasti temperatuuri suhtarvu. Seega arvutades soojustagasti temperatuuri suhtarvu on üpris selgelt näha, kui rootoririhm enam korralikult ei vea rootorit ringi, kuna temperatuuri suhtarvu langus on märgatav. Lisaks selgub mõõtetulemustest, et kui vähendada rootorsoojusvaheti kiirust kuni 5%, siis temperatuuri suhtarvu langus pole selgelt märgatav ning temperatuuri suhtarv püsib enam-vähem samal tasemel, kui soojustagasti oleks töörežiimis 100%.



Joonis 18. SV4 rootorsoojusvaheti temperatuuri suhtarv erinevatel pöörlemiskiirustel

Lõputöö raames mõõdeti SV4 ja SV9 rootorsoojustagasti pöörlemiskiiruseid 80-100% vahemikus ning võrreldi soojustagastite temperatuuri suhtarve omavahel. SV4 puhul on selgelt näha soojustagasti temperatuuri suhtarvu langust, kui on vähendatud rootori pöörlemiskiirust. Vähendades SV4 soojustagasti pöörlemiskiirust 10%, langeb soojustagasti temperatuuri suhtarv ligikaudu 5%, vähendades aga pöörlemiskiirust 20% on soojustagasti temperatuuri suhtarvu langus juba 10%, kuid samas SV9 puhul antud langust märgata pole. Põhjuseks on, et SV9 seadmega teostati katsed 180 l/s õhuhulga juures, kuid seade on projekteeritud tegelikult töötama erinevate katsete jaoks tunduvalt suurematel kiirustel. Maksimaalne projekteeritud õhuhulk SV9 seadmel on 500 l/s. Mõõtetulemustest saame järeldada, et kui ventilatsiooniseade ei tööta maksimaalselt projekteeritud õhuhulkade juures, vaid näiteks vähendatud kiirustel, siis soojustagasti vea tuvastamine muutub keerulisemaks, kuna temperatuuri suhtarvu langust pole esimese 20% vähendatud pöörlemiskiiruse juure selgelt märgata.



Joonis 19. SV9 ja SV4 rootorsoojusvaheti temperatuuri suhtarvu võrdlus erinevatel pöörlemiskiirustel

3.1.5 SV4 rootorsoojustagasti lekke suurused erinevate ΔP_{22-11} rõhkude vahega ja pöörlemiskiirustega

Mõõtmiste käigus mõõdeti SV4 rootorsoojusvahetis toimuvat leket erinevate sissepuhke ja väljatõmbe poolte rõhkude vahega, ΔP_{22-11} . Kuna ventilatsiooniseadmel puudus väljatõmbe kanalil reguleerklapp, millega oleks võimalik tõsta väljatõmbeõhu rõhku, siis jäljendati väljatõmbeõhu drosseldamist ehk rõhu tõstmist väljatõmbe filtri teipimisega.

Mõõtetulemustest selgub, et kui SV4 seadme rõhud reguleeriti selliselt, et leke toimuks sissepuhke poolelt väljatõmbesse ehk ΔP_{22-11} rõhkude vahe oleks positiivne, siis leke oli seadmes EATR põhjal keskmiselt 31%. Seadme normaaltöös oli leke aga keskmiselt 8%. Tulemustest (vt. Tabel 3 ja Joonis 21) võiks järeldada, et seadme normaaltöös olev rõhkude vahe on nii suur, et kui drosseldada väljatõmbe poole rõhk võrdseks sissepuhkega, siis väljatõmbe ventilaatoril on lihtsam õhku võtta läbi ebatiheduste õhuvõtu poolelt või läbi seadme korpuse, seega suurenes oluliselt leke õhuvõtu ja väljaviske poolel. Mõõteandmetest selgus, et kui $\Delta P_{22-11} = 25$ Pa, siis leke õhuvõtu ja väljaviske poolel oli 31%, ehk sama suur, kui sissepuhke ja väljatõmbe poolel.

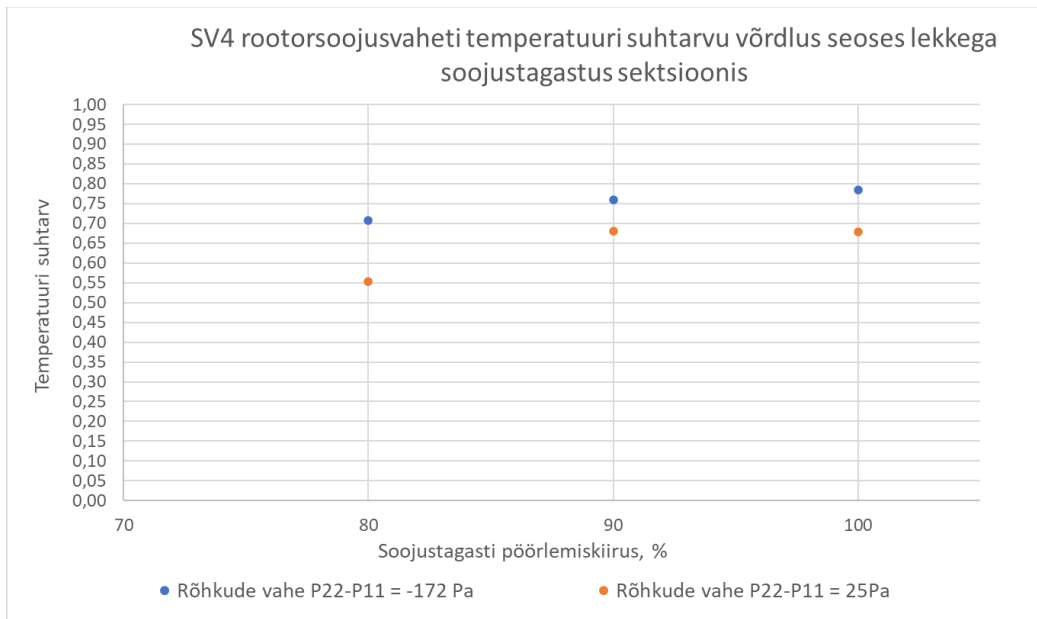
Mõõdetud andmete kuupäev	Mõõtmiste kestus, h	Väljatõmbe rõhk, ΔP_{11}	Sissepuhke rõhk, ΔP_{22}	Rõhkude vahe, $\Delta P_{11}-P_{22}$	Keskmine leke, $EATR_{SP}$, %	Keskmine leke, $EATR_{VT}$, %
26.03.2021	8,00	-352	-327	25	31,43	31,69
19.04.2021	8,00	-230	-280	-50	30,09	32,66
20.04.2021	8,00	-185	-275	-90	39,34	26,39
14.04.2021	8,00	-154	-270	-116	34,42	27,36
22.04.2021	8,00	-100	-230	-130	31,13	20,56
28.04.2021	8,00	-80	-235	-155	18,15	20,60
01.04.2021	8,00	-86	-258	-172	8,72	24,96

Tabel 3. SV4 soojustagasti leke arvatuna EATR meetodil erinevate ΔP_{22-11} rõhkude vahega

Siit saame järeldada, et SV4 rootorsoojusvahti temperatuuri suhtarvu võrdlus erinevate rõhkude vahega, näitab selgelt, et suurenenud lekke puhul langes soojusvaheti temperatuuri suhtarv, mille langust põhjustab suurenenud leke sissepuhke-väljatõmbe, kui ka õhuvõtu-väljaviske poolel. Kui soojustagasti sektsioonis oli arvatud ΔP_{22-11} ja ΔP_{21-12} leke EATR põhjal 31%, siis langes soojustagasti temperatuuri suhtarv ligikaudu 10%. Soojustagasti temperatuuri suhtarvu languse põhjuseks ongi eelkõige, et toimub õhkude mittetahtlik segunemine õhuvõtu (P_{21}) ja väljaviske (P_{12}) ning väljatõmbe (P_{11}) ja sissepuhke (P_{22}) pooltel. Nii suurte lekete puhul pole enam soojustagastit läbivad õhuhulgad võrdsed ning soojustagasti temperatuuri suhtarv hakkab langema.

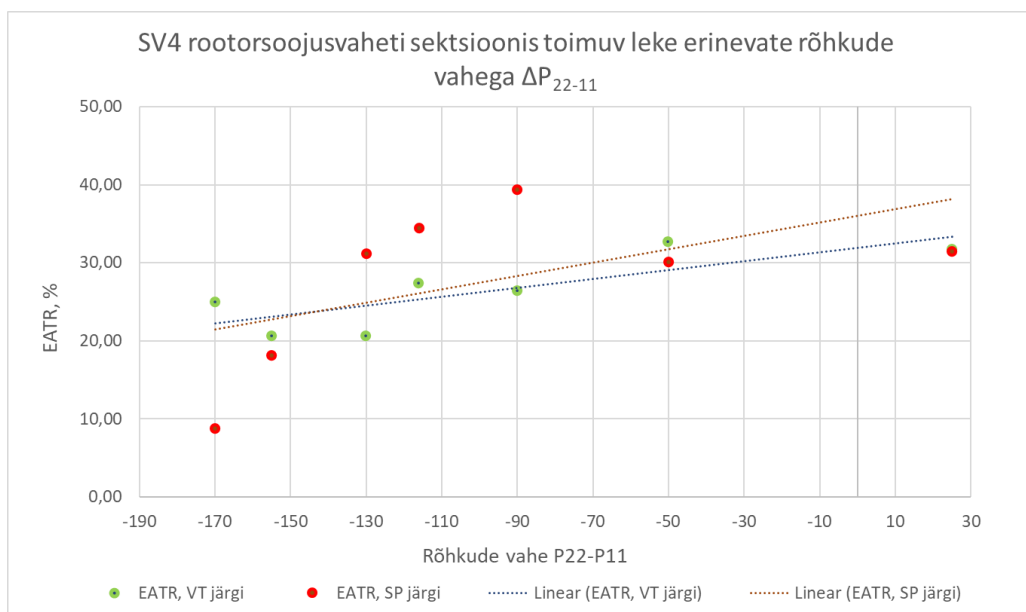
Arvestame näiteks SV4 seadme ventilaatorites mõõdetavaks õhuvooluhulgaks $1 \text{ m}^3/\text{s}$ nii väljatõmbele kui sissepuhkele. Juhul kui seadmes toimub mõõdetud leke väljatõmbe-sissepuhke sektsioonide vahel 20%, siis väljatõmbest lekkiv vooluhulk sissepuhkesse on $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Arvestades aga mõõdetud lekke suurust õhuvõtu-väljaviske sektsiooni näiteks 30%, siis väljaviskesse lekkivaks vooluhulgaks on $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Mis tähendab, et tegelik väljatõmbe õhuhulk on $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ning õhuvõtu õhuhulk on $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Seega soojustagastisse jõuab väljatõmmatavast õhuhulgast $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ning õhuvõtust $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Arvestades, et soojustagastit läbivad õhuhulgad ei ole tegelikult enam võrdsed tuleks soojustagasti temperatuuri suhtarvu arvutamisel kasutada NTU meetodikat, mis arvestab vooluhulkade erinevusi. Lisaks vooluhulkade erinevustele, ei näita mõõdetud temperatuurid enam ainult soojustagasti poolt tagastatud soojusenergia ülekannet, vaid ka mitte tahtlikult toimunud õhuhulkade segunemisest tingitud soojusenergia ülekannet.



Joonis 20. SV4 soojusvaheti temperatuuri suhtarvu võrdlus seoses lekkega soojustagastus sektsioonis

Joonis 21. selgub, et kui seadme ΔP_{22-11} rõhkude vahet üritati parandada siis seadmesisene leke suurenes ning mõõdetulemused läksid kehvemaks. Üheks põhjuseks on $P_{22}-P_{11}$ väga suur rõhkude erinevus seadme normaaltöös (vt. Tabel 3). Selleks, et tasakaalustada $P_{22}-P_{11}$ rõhkude vahe, teibiti väljatõmbe filter kinni 95% ulatuses, mis tõstis ventilaatori tööpunkti ning tekitavat rõhku. Kuna rõhku tõsteti oluliselt, siis ventilaator hakkas väljatõmbe poolel imema õhku enne filtrit, kõikvõimalikest ebatihedustest ning suurenes leke veelgi.



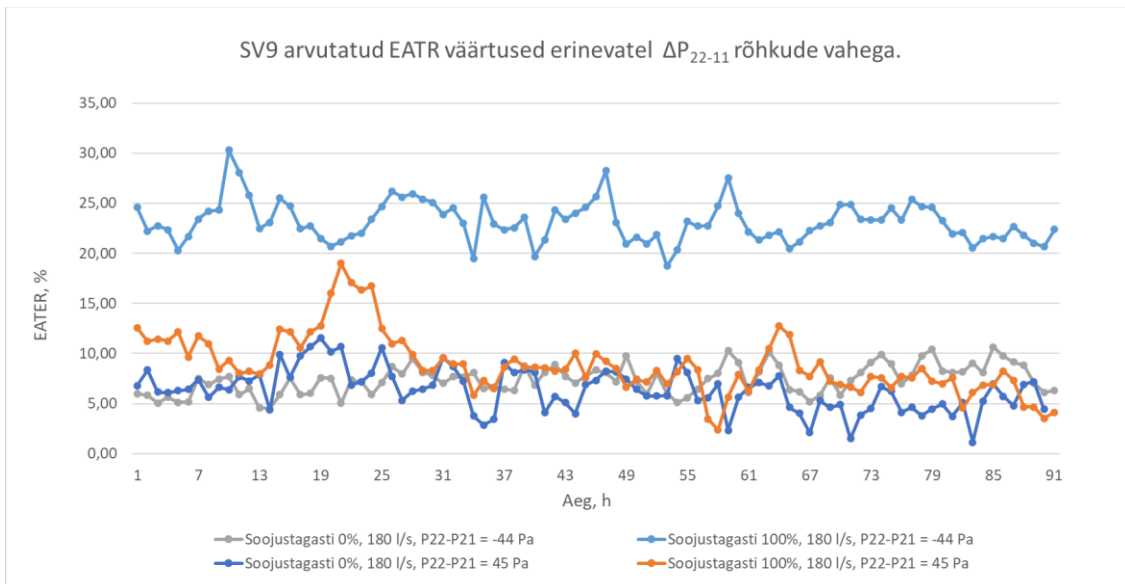
Joonis 21. SV4 rootorsoojusvaheti sektsioonis toimuv leke erinevate rõhkude vahega, ΔP_{22-11}

3.1.6 SV9 rootorsoojustagasti leke võrdlus positiivse ja negatiivse ΔP_{22-11} rõhkude vahega

SV9 seadmel mõõdeti leket kahes erinevas rõhuolukorras. Ventilatsiooniseadmel mõõdeti P_{22-11} rõhkude vaheks normaaltöö olukorras -44 Pa (mõõdetud rõhk väljatõmbes -75 Pa ja sissepuhkes -117 Pa). Selleks, et lisaks normaaltöö olukorrale, oleks võimalik mõõta leket soojustagastus sektsioonis ka seadistatud rõhuolukorras, teibiti väljatõmbe plafoone nii, et ΔP_{22-11} rõhkude vahe oleks positiivne. Seadistatud rõhuolukorras mõõdeti P_{22-11} rõhkude vaheks 45 Pa (mõõdetud rõhk väljatõmbes -185 Pa ja sissepuhkes -140 Pa).

Mõõtetulemustest saame järeldada, et rõhkude vahe seadistamine väljatõmbe-sissepuhke poolte vahel, enne soojustagastit, omab olulist mõju seadmesisesele lekkele. Rõhuolukorras kus P_{22-11} rõhkude vahe oli seadme normaaltöös -44 Pa on seisatud rootori puhul arvatud keskmiseks lekkeks EATR järgi 7,4% ning 100% töötava rootori puhul 23,2%. Seadistades rõhuolukorda selliselt, et sissepuhke poolel on väljatõmbest suurem rõhk, paraneb oluliselt seadmesisene leke. Rõhuolukorras kus P_{22-11} rõhkude vahe oli seadme normaaltöös 45 Pa on seisatud rootori puhul arvatud keskmiseks lekkeks EATR järgi 6,4% ning 100% töötava rootori puhul 8,9%. Seega parandades soojustagasti sektsioonis rõhuolukorda vähene seadmesisene leke seiva rootori puhul 1% võrra ning 100% töötava rootori puhul 14,3% mis on väga suur vahe seadmesiseses lekkes.

Võttes arvesse mõõtetulemusi siis saame järeldada, et P_{22-11} rõhkude vahe omab väga suurt mõju seadmesisesele lekkele eelkõige töötava rootori puhul, kui ka seisva rootori puhul. Seadistades seadme rõhud soojustagastus sektsioonis vastavalt tootjapoolsetele juhenditele või vastavalt Eurovent poolt välja antud juhendmaterjalile „Air leakages in Air Handling Units“, siis on võimalik vähendada oluliselt soojustagastus sektsioonis toimuvat leket. Mida väiksem on seadmesisene leke, seda energiatõhusam on ventilatsiooniseade ning seda kvaliteetsem on sissepuhke õhk.



h

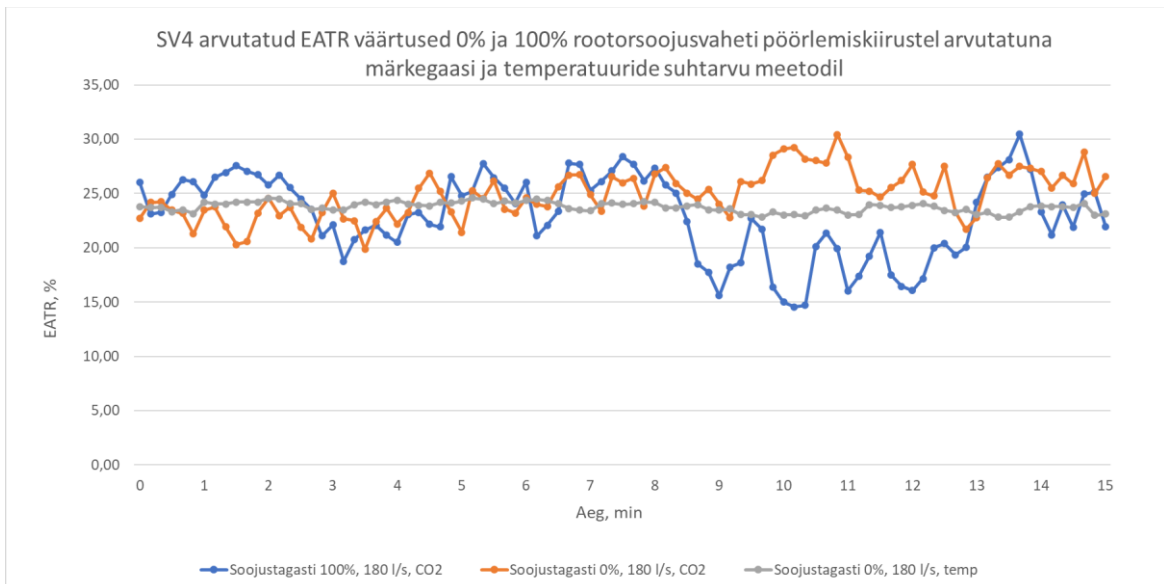
Joonis 22. SV9 arvutatud EATR väärtused erinevate ΔP_{22-11} rõhkude vahega

3.1.7 Lekked soojustagastus sektsioonis mõõdetud temperatuuri suhtarvu ja märkegaasi meetodil

Soojustagasti sektsioonis toimuvat leket mõõdeti temperatuuride suhtarvu järgi ja süsihappegaasi (CO₂) kontsentratsioonide põhjal. Süsihappegaasi kontsentratsiooni põhjal kasutati mõõtmistulemustes parandeid, kus võeti enne mõõtmist kõikide mõõtepunktide algväärtuseks 400 ppm. Selleks lahutati enne katset mõõdetud CO₂ kontsentratsiooni tulemus mõõtepunktide algväärtusest (400 ppm) ning saad igale mõõtepunktile oma parand, mis hiljem liideti katse mõõtetulemustele juurde.

3.1.7.1 SV4 seadme EATR väärtused 0% ja 100% töötava soojusvahetiga

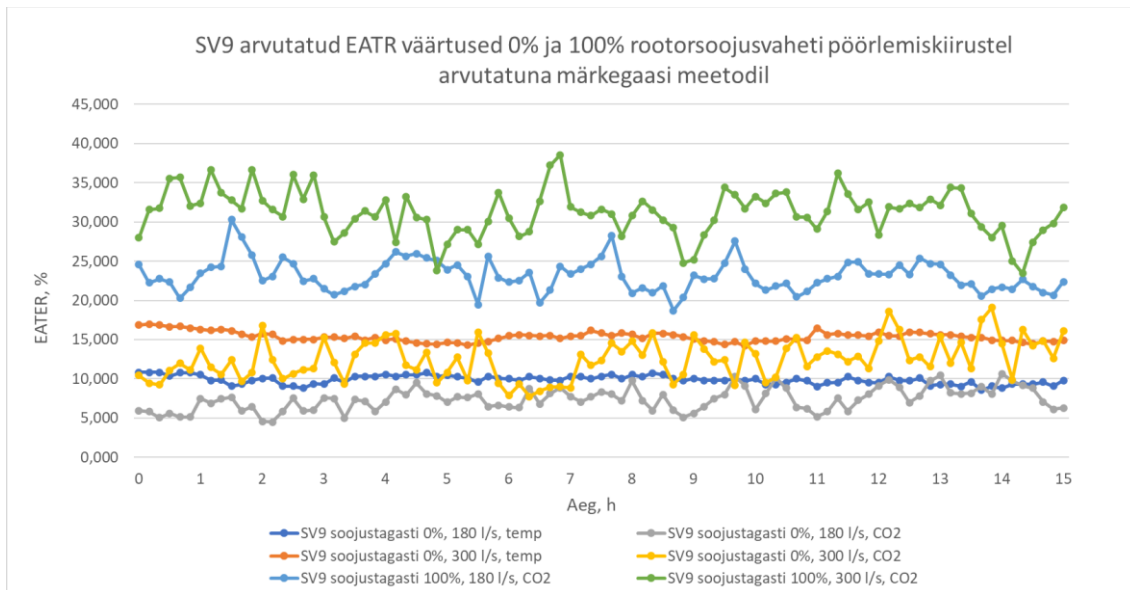
SV4 seadmel mõõdeti temperatuuride suhtarvu põhjal ΔP_{22-11} lekkeks keskmiselt 23,8 %. Sama katset teostati märkegaasiga ehk CO₂ kontsentratsioonide põhjal. CO₂ kontsentratsioonid põhjal saadi väljalülitatud ehk 0% töörežiimis olevale soojustagastile lekkeks keskmiselt 24,9%. 100% töötavale soojustagastile aga keskmiseks lekkeks 22,9%. Kuna CO₂ kontsentratsiooni puhul on mõõtmised üpris hüplikud ega pole stabiilsed (võrreldes temperatuuri suhtarvu põhjal arvatuga), siis SV4 seadmele teostatud katse puhul ei selgu täpne rootorsoojustagasti pöörlemisest tingitud lekke suurus.



Joonis 23. SV4 arvutatud EATR väärtused 0% ja 100% rootorsoojusvaheti pöörlemiskiirustel arvutatuna märkegaasi ja temperatuuride suhtarvu meetodil

3.1.7.2 SV9 seadme EATR väärtused 0% ja 100% töötava soojusvahetiga

SV9 seadmel mõõdeti temperatuuride suhtarvu põhjal, õhuhulkadel 180 l/s, keskmiseks lekkeks (P_{11-22}) 9,9%. CO₂ kontsentratsioonide põhjal saadi 0% töörežiimis, õhuhulkadel 180 l/s, soojustagasti lekkeks keskmiselt 7,4%. 100% töötavale soojustagastile aga keskmiseks lekkeks 23,2%. Tulemuste võrdlemiseks korraldati SV9 seadmel katsed 300 l/s õhuhulkadega, kus temperatuuride suhtarvu põhjal saadi lekkeks (P_{11-22}) keskmiselt 15,4%. CO₂ kontsentratsioonid põhjal saadi 0% töörežiimis olevale soojustagastile lekkeks 12,5% ja 100% töötavale soojustagastile keskmiseks lekkeks 31,2%. Soojustagasti temperatuuri suhtarv 180 l/s ja 300 l/s õhuhulkade juures oli 0,89. Tulemustest võiks järeldada, et rootori pöörlemisest tingitult suureneb saastunud (väljatõmmatava) õhu ülekannesissepuhke sektsiooni täiendavalt ligikaudu 16-19%. Rootorsoojustagastite puhul tuleks teostada täiendavaid mõõtmisi töötava ja seisva rootoriga, et jõuda selgusele mis põhjustab rootori pöörlemisest tingitult täiendavat leket nii suures ulatuses.



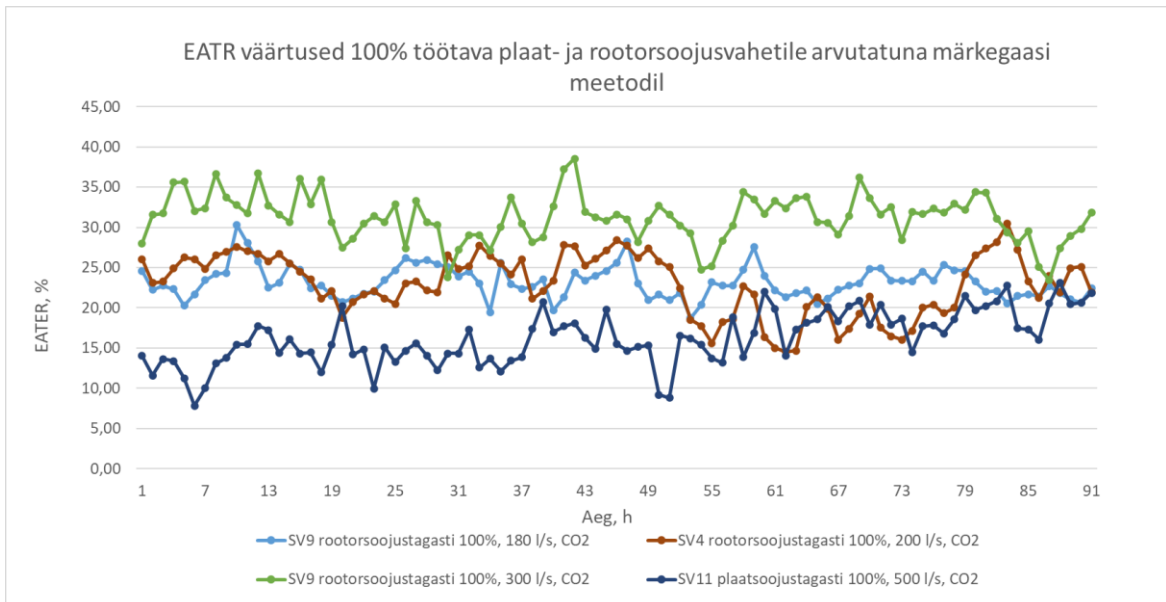
Joonis 24. SV9 arvutatud EATR väärtused 0% ja 100% rootorsoojusvaheti pöörlemiskiirustel arvutatuna märkegaasi ja temperatuuride suhtarvu meetodil

3.1.7.3 EATR väärtused 100% töötava plaat- ja rootorsoojusvahetile arvutatuna märkegaasi meetodil

Mõõtetulemustest selgub, et soojustagastites on tegelikusest tunduvalt suurem leke, kui seadmete tootja poolt deklareeritud andmed näitavad. Põhjuseks on, et lekke suurus seadmes sõltub väga paljudest erinevatest teguritest, alustades seadme projekteerimis vigadest ning lõpetades paigaldus vigadest. Laboratoorsetes tingimustes tehtud katsed ei peegelda seega tegelikku olukorda objektidel, kus ventilatsiooniseadme seadistamine ja paigaldus ei pruugi olla võimalik selliselt, et tagada tootja poolt deklareeritud lekete väärtuseid. Kui varasemalt on kehtinud arvamus, et plaatsoojustagastites leket ei toimu, siis mõõtetulemused kinnitavad, et leke toimub ka plaatsoojustagastis. SV11 puhul mõõdetud lekke suurus märkegaasi meetodil ning arvutatuna $EATR_{CO_2}$ põhjal näitab soojustagasti leket keskmiselt 16%. Plaatsoojustagasti puhul on sedavõrd suure lekke põhjuseks pigem siiski paigaldusest tingitud ebatihedused soojusvaheti ja ventilatsiooniseadme korpuse vahel. SV11 seadmel lekke üheks põhjuseks tuvastatigi kehvasti paigaldatud tihend soojusvaheti ja sissepuhke/väljatõmbe sektsiooni liite vahel (vt. Foto 7). Täpsemate tulemuste saamiseks tuleks tulevikus plaatsoojustagastitega seadmetele sarnaseid katseid teostada veel ning võimalusel erinevate suurustega seadmetele.



Foto 7. SV11 soojusvaheti sissepuhke ja väljatõmbe sektsiooni vaheline ebatihedus



Joonis 25. EATR väärtused 100% töötava plaat- ja rootorsoojusvahetile arvatuna märkegaasi meetodil

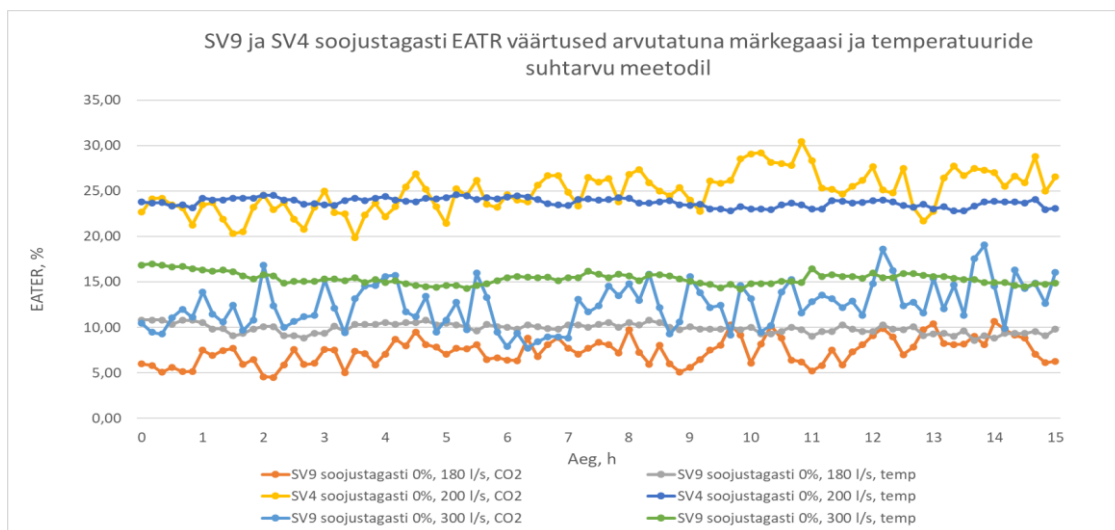
3.1.8 Temperatuuri suhtarvu meetodi valideerimine märkegaasi meetodi põhjal

Selleks, et hinnata temperatuuride suhtarvu põhjal ja märkegaasi põhjal mõõdetuid ning arvutatud tulemusi, võrreldi lõputöö raames temperatuuride ja kontsentratsioonide põhjal arvutatud tulemusi. Tulemustest selgub, et CO₂ kontsentratsioonide põhjal arvutatud tulemused on rohkem ebastabiilsemad, kui temperatuuride suhtarvu järgi saadud tulemused. CO₂ kontsentratsiooni hüplikust saab selgitada kahe teguriga, millest üheks on ebaregulaarne vooluhulk, mida lasti

õhuvõtu kanalisse ning teiseks on ventilaatori enda kiiruse muutus, et hoida etteantud sissepuhke ja väljatõmbe vooluhulka ja rõhku, mis võib erinevatest teguritest vähesel määral ajas muutuda. Mõõtmisel määrati CO₂ vooluhulgaks 25 l/min, mida lasti CO₂ balloonist süsteemi. Vooluhulga seadistamiseks kasutati reduktorit. Kuna katse kestus oli 30 minutit, siis peale 2-3 minutit hakkas jäätumisest tingitult CO₂ vooluhulga kogus kõikumama. Seda näitab ka mõõtmiste käigus arvatud vooluhulk, mis oli ligikaudu 20 l/min.

Mõõtetulemustest selgub, et SV9 seadmes mõõdetud CO₂ kontsentratsiooni põhjal on leke ligikaudu 2-3% madalam, kui temperatuuride suhtarvu põhjal arvatud tulemused. SV4 seadmes on CO₂ kontsentratsiooni põhjal leke aga 1% suurem, kui temperatuuride järgi leitud leke. Üldpilt on siiski CO₂ kontsentratsioonide ja temperatuuride suhtarvu põhjal üpris sarnane ning seega mõlemad meetodid on andmete analüüsimiseks ja tulemuste arvutamiseks kasutatavad. Selleks, et mõõta objektidel väga täpseid tulemusi, on vaja teada mõõtmise meetodikat, väga häid mõõtmistingimusi ning omajagu mõõteseadmeid.

Kuna hetkel leiduvatest teadusuuringutest, väljaannetest, standarditest jms allikatest ei ole saada väga häid juhendeid märkegaasi mõõtmiste läbiviimisest, siis antud lõputöös ei ole võimalik hinnata, kui täpsed on märkegaasi meetodil saadud mõõtmistulemused. Kindlasti tasub antud meetodikat edasi arendada ning teostada sarnaseid katseid erinevate ventilatsiooniseadmete peal erinevates tingimustes.



Joonis 26. SV9 ja SV4 soojustagasti EATR väärtused arvatatuna märkegaasi ja temperatuuri suhtarvu meetodil

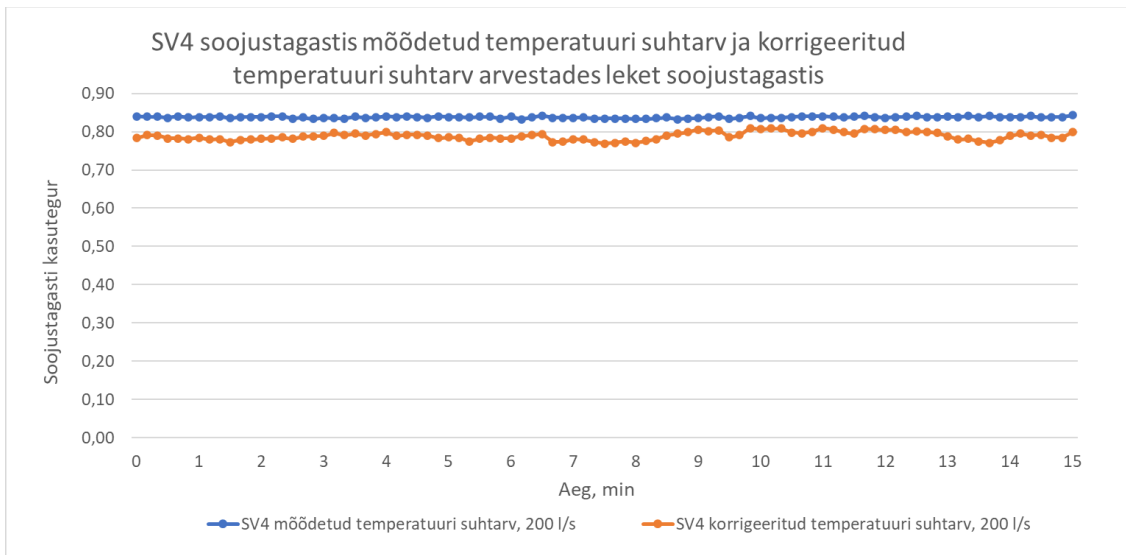
Ventilatsiooniseade:	SV4, 200 l/s	SV9, 180 l/s	SV9, 300 l/s	SV11, 500 l/s
Märkegaasi meetodiga leitud keskmine leke				
Soojusvaheti 100% töös, EATR %	22,92	23,15	31,19	16,20
Sooj vaheti 0% töös, EATR %	24,94	7,37	12,49	-
Temperatuuride suhtarvu meetodiga leitud keskmine leke				
Sooj vaheti 0% töös, EATR %	23,76	9,89	15,37	10,22
Mõõtetulemuste vahe temperatuuride suhtarvu ja märkegaasi meetodil				
Soojusvaheti 0% töös, EATR %	1,17	2,52	2,88	
Soojusvaheti 0 ja 100% töös, EATR %	0,84	13,26	15,82	5,98
Mõõtetulemuste vahe märkegaasi meetodil				
Soojusvaheti 0% ja 100% töös, EATR %	2,01	15,78	18,70	
Erinevused märkegaasi ja temperatuuride suhtarvu põhjal arvatud EATR tulemustes				
Erinevus soojusvaheti 0% töös, %	4,7	25,5	18,7	
Erinevus soojusvaheti 0 ja 100% töös, %	3,5	57,3	50,7	

Tabel 4. Märkegaasi ja temperatuuri suhtarvu meetodil arvatud mõõtetulemuste erinevused

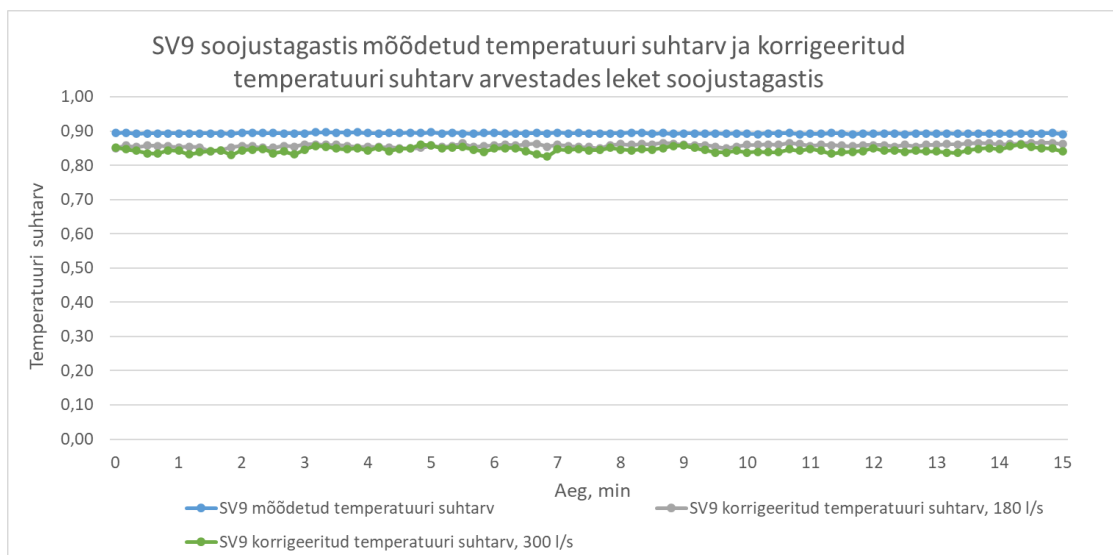
3.1.9 Soojustagasti korrigeeritud temperatuuri suhtarv arvestades leket soojustagastis

Lõputöös analüüsiti mõõdetud soojustagastite temperatuuri suhtarve ning lekete mõju soojustagastitele. Selleks, et oleks võimalik saada võrdsetel õhuhulkadel soojustagasti korrigeeritud temperatuuri suhtarv, arvutati mõõdetud temperatuuride põhjal ja arvatud EATR põhjal tegelik soojustagasti temperatuuri suhtarv. Selleks kasutati valemit 1.4.

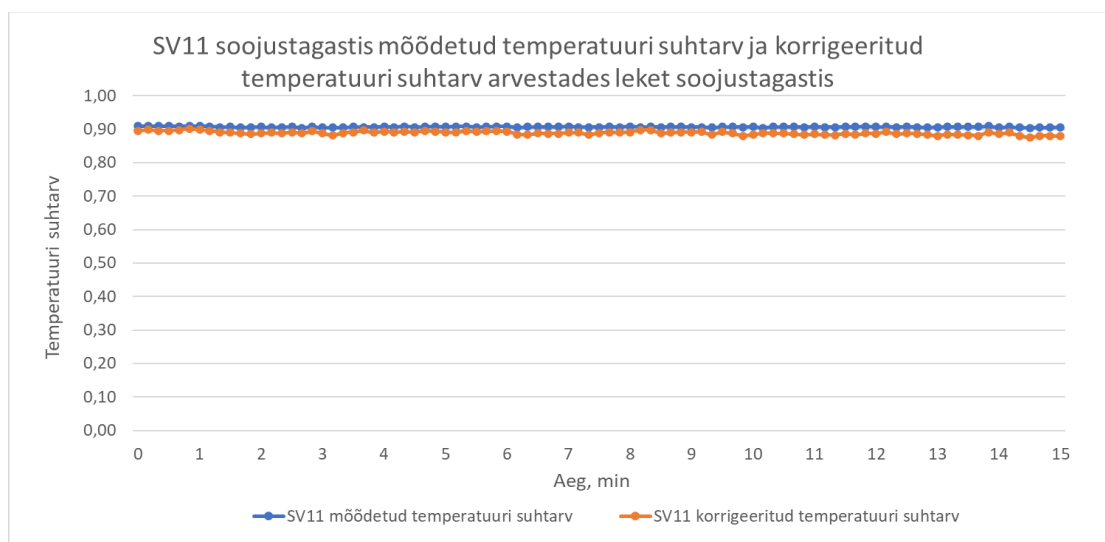
Mõõtetulemustes (vt. Joonis 27, Joonis 28 ja Joonis 29) selgub, et tegelik soojustagasti temperatuuri suhtarv on olenevalt lekke suurusest tunduvalt madalam. SV4 soojustagasti suhtarv temperatuuride põhjal on $\eta_t = 0,838$, kuid $\eta_{t,net}$ järgi on arvatud temperatuuri suhtarv on 0,789 mis teeb erinevuseks 4,9%. SV9 seadme puhul, õhuhulkadel 180 l/s on suhtarv temperatuuride põhjal $\eta_t = 0,891$, kuid $\eta_{t,net}$ järgi on arvatud temperatuuri suhtarv 0,858 mis teeb erinevuseks 3,7%. SV9 seadme soojustagasti temperatuuri suhtarv õhuhulkadel 300 l/s jäi küll samaks ehk 0,891, kuid $\eta_{t,net}$ järgi on arvatud temperatuuri suhtarv 0,845, mis teeb erinevuseks 4,9%. Vastavalt Joonis 27. tulemustele saame järeldada, et ligikaudu 30% lekke juures on soojusvaheti efektiivsuse langus ligikaudu 5%.



Joonis 27. SV4 mõõdetud ja korrigeeritud soojustagasti temperatuuri suhtarvu võrdlus



Joonis 28. SV9 mõõdetud ja korrigeeritud soojustagasti temperatuuri suhtarvu võrdlus



Joonis 29. SV11 mõõdetud ja korrigeeritud soojustagasti temperatuuri suhtarvu võrdlus

3.2 Tuvastatud vead

Lõputöö raames tuvastati, et kõikidel mõõdetud ventilatsiooniseadmete soojustagastitel oli tunduvalt suurem leke, kui näiteks standard prEN 308:2020 näeb ette, milleks on lubatud maksimaalne leke rootorsoojustagasti sektsiooni kuni 5%. Lisaks suurele lekkele soojustagastis toimub leke tegelikult suunaga valet pidi ehk väljatõmbe poolelt sissepuhke poolele, mis mõjutab juba üle 5% lekke puhul oluliselt sissepuhutava õhu kvaliteeti.

SV11 seadmel teostatud mõõtmistel selgus, et pärast plaatsoojustagastit on sissepuhkeõhu temperatuuri mõõtmine üpris keeruline ning mõõtepunkt vajab hoolikalt valimist. Mõõtepunkti valimise teeb keeruliseks peale soojustagastit asuv üpris lühike sektsiooni osa, mis on lühike aga sügav ning seega ei jõua enne ventilaatorisse minemist soojustagastit ja möödaviiku läbiv õhuhulk seguneda piisavalt, et oleks võimalik saada tegelikkusele vastavaid mõõteandmeid. Kui viia mõõtepunkt soojusvahetist eemale, näiteks pärast ventilaatorit, siis tuleb mõõtmistel arvestada ventilaatori poolt tekitatava temperatuuritõusuga. Lisaks võivad mõõtepunkti hakata mõjutama läbi ventilatsiooniseadme kesta tingitud temperatuurimuutus, kui ka küttekalorifeeri poolt tekitatud temperatuurimuutused. Siit saame järeldada, et mida kaugemal on soojustagastist mõõtepunkt seda rohkem tegureid tuleb arvestada mõõtmistel, et saada tegelikkusele vastav olukord.

3.3 Lahendused ja ettepanekud

Lõputöös käsitletud CO₂ ja temperatuuride suhtarvu meetodil tulemuste analüüsimine andis küll üpris selge pildi toimuvast olukorrast soojustagastites, kuid kuna hetkel leiduvatest teadusuuringutest, väljaannetest, standarditest jms allikatest ei ole saada väga häid juhendeid märkegaasi ja temperatuuride suhtarvu mõõtmiste läbiviimisest, aga on infot piisavalt massivooluhulkade põhjal arvutatava lekke kohta, siis tulevikus tasuks valideerida märkegaasi meetodika vastavalt massivooluhulkade põhjal ning koostada täpne mõõtmisjuhend märkegaasi mõõtmisteks. Sealhulgas tuleks välja töötada meetodika OACF'i arvutamiseks märkegaasi ja temperatuuride suhtarvu mõõtmiste põhjal. Kuna massivooluhulkade mõõtmine on tunduvalt keerulisem juba objektile paigaldatud seadme puhul, siis temperatuuride või märkegaasi põhjal oleks mõõteandmete kogumine objektidel tunduvalt lihtsam teostada.

Soojustagastite temperatuuri suhtarvu esitamine hooneautomaatikasse ning soojustagasti efektiivsuse hindamise jaoks mõõdetavaid mõõtepunktide tulemusi tuleks analüüsida ja kontrollida. Mõõtmiste käigus selgus, et tehase poolt paigaldatud andurid pole alati kõige paremates punktides (nt. õhk ei segune täielikult mõõtepunktis) ning ei pruugi näidata tegelikku olukorda. Kui suured on mõõtevead anduritel tingitud valesst asukoha valikust ning millist mõju omavad need ventilatsiooniseadme efektiivsusele.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli tekitada ja katsetada sihilikult tekitatud soojustagastitega seotud vigasi ning mõõta ja analüüsida vigade mõju soojustagastite efektiivsusele. Lisaks mõõdeti soojustagastite sektsioonis toimuvat leket ning analüüsiti lekkest tingitud mõju soojustagastite efektiivsusele. Mõõteandmeid koguti Akadeemia tee 5a keldrikorruse ventilatsiooniseadmetest (SV4 ja SV11) ning Mäepealse 3 sisekliima labori ventilatsiooniseadmest (SV9).

Lõputööst selgub, et kuigi esialgu mõõdetud soojustagastite temperatuuri suhtarvud olid ligilähedased tootja poolt deklareeritule, siis tegelikult see nii ikkagi pole. Kui võtta arvesse soojustagastites toimuvat leket, siis tegelikult on soojustagasti temperatuuri suhtarv lõputöö raames kogutud mõõtmistulemuste põhjal kuni 5% madalam, kui deklareeritud andmed. Soojustagasti efektiivsuse langus sõltub põhiliselt soojustagasti sektsioonis toimuvast lekke suurusest.

Soojustagastitele tekitatud vigadest selgus, et kui soojusvaheti mustub ligikaudu 10-25%, siis soojustagasti efektiivsus langeb ligikaudu 1-2% võrra. Samas, kui soojustagasti efektiivsus peaks langema mõõtmistulemustes järsult 5% või rohkem võrra, siis see on selge indikaator rootorsoojusvaheti puhul, et rootori rihm võib olla liiga lõtv ning ei vea enam rootorit korrektselt ringi. Lõputöö tulemustest selgub, et kui ventilatsiooniseade ei tööta projekteeritud kiirustel, vaid vähendatud õhuhulkadel, siis soojustagastiga seotud vea tuvastamine, kuni 20% efektiivsuse languse puhul ei ole märgatav, kuna soojustagasti temperatuuri suhtarv oluliselt ei lange.

Lekete mõõtmiste ja katsete tulemusel selgus, et kõikidel uuritavatel ventilatsiooniseadmetele (SV4, SV9 ja SV11) oli tunduvalt suuremad lekkes ΔP_{22-11} sektsioonide vahel, kui näiteks standard prEN 308:2020 ette näeb, milleks on lubatud maksimaalne leke soojustagasti sektsiooni kuni 5%. Mõõtetulemustest selgus, et SV4 seadmes oli soojustagastus sektsiooni leke õhuhulkadel 200 l/s, keskmiselt ligikaudu nii töötava, kui seiva rootori puhul 24% ning SV9 seadmel õhuhulkadel 180 l/s, kui rootor seisis, leke keskmiselt 10% ning töötava rootori puhul 23%. Õhuhulkadel 300 l/s, kui rootor seisis oli leke keskmiselt 15% ning töötava rootori puhul 31%. SV9 puhul rootori pöörlemisest tingitud oluline lekke tõus vajab veel täiendavat uurimist.

SV9 ventilatsiooniseadme puhul mõõdeti leket kahes erinevas rõhuolukorras. Normaaltöös mõõdeti soojustagasti sektsioonis P₂₂₋₁₁ rõhkude vaheks -44 Pa ning seadistatud rõhuolukorras rõhkude vaheks 45 Pa. Mõõtetulemustest selgus, et parandatud rõhuolukorras langes leke soojustagastus sektsioonis seisva rootori puhul 1% võrra ja 100% töötava rootori puhul 14,3% võrra, mis on oluline vahe mõõdetud tulemuste vahel. Siit saame järeldada, et seadistatud rõhuolukorras on võimalik vähendada oluliselt seadmesisest leket soojustagastus sektsioonis ning seeläbi muuta seade energiatõhusamaks ja parandada oluliselt sissepuhkeõhu kvaliteeti.

Lõputöö mõõteandmetest võib seega järeldada, et soojustagastite efektiivsust mõjutavad väga mitmed erinevad tegurid ning kindlasti kõiki tegureid antud lõputöö raames ei jõutud käsitleda. Põhiliseks teguriks võiks lugeda soojustagastites toimuvat leket ning arvestades, et COVID-19 pandeemiaga seoses pööratakse aina rohkem tähelepanu sissepuhke õhukvaliteedile võib lõputöö tulemustest järeldada, et soojustagastite põhiliseks probleemiks on seal toimuvad lekked ning lekete suurused mis mõjutavad oluliselt sissepuhkeõhu kvaliteeti, kui ka soojustagasti tegelikku efektiivsust. Arvestades, et enamuste ventilatsiooniseadmete soojustagastite efektiivsus mis kuvatakse hooneautomaatikas ei võta arvesse lekkeid soojustagastites ega õhuhulkade erinevust näiteks sissepuhke ja väljatõmbe poolel, siis võib seadme haldajale jääda mulje, et tegemist on väga efektiivse soojustagastiga, mis aga tegelikult ei pruugi vastata üldse tõele.

Lõputöös ajalise piirangu tõttu ei jõutud tegeleda OACF lekke suuruste määramistega. Samuti lõputöös ei jõutud analüüsida ega arvutada NTU meetodiga temperatuuri suhtarve ja võrrelda neid mõõdetud temperatuuride suhtarvudega.

SUMMARY

The aim of this Master's thesis was to create and test intentionally generated faults related to heat recovery units and to measure and analyse the effect of the faults on the efficiency of heat recovery units. In addition, the author measured the leakage of heat recovery units and analysed the effect of leaks on the efficiency of heat recovery units. Measurement data were collected from the ventilation equipment (SV4 and SV11) in the basement of Akadeemia tee 5a and from the ventilation equipment of the indoor climate laboratory at Mäepealse 3 (SV9).

The thesis outlines that although the temperature ratio of the heat recovery units initially measured were close to those declared by the manufacturer, this is not actually the case. If the leakage in heat recovery units is taken into account, the temperature ratio of the heat recovery unit is in fact up to 5% lower than the declared data, based on the measurement results collected in this study. The decrease in the efficiency of heat recovery depends on the size of the leakage in the heat recovery section.

The faults generated in the heat recovery units revealed that if the heat recovery unit fouls by about 10–25%, heat recovery temperature ratio decreases by about 1–2%. However, in the case of rotary heat recovery units, a sharp drop of 5% or more in heat recovery efficiency in the measurement results is a clear indicator that the rotor belt may have become too loose and no longer drive the rotor correctly. The results of the study show that if the ventilation unit does not work at the designed speeds but at reduced air volumes, with an efficiency reduction of up to 20%, then faults in heat recovery are not noticeable because heat recovery efficiency does not decrease significantly.

Leakage measurements and tests showed that all tested ventilation units (SV4, SV9, and SV11) had significantly higher leaks between ΔP_{22-11} sections than, for example, specified by the prEN 308:2020 standard, which allows a maximum leakage of up to 5% in the heat recovery section. The measurement results revealed that in the SV4 unit, the leakage in the heat recovery section was on average approximately 24% at air volumes of 200 l/s with both running and stopped rotor. In SV9, at air volumes of 180 l/s, the average leakage was 10% when the rotor was stopped and 23% when the rotor was running. At air volumes of 300 l/s, the average leakage was 15% when the rotor was stopped and 31% when the rotor was running.

In the case of SV9, the significant increase in leakage due to rotor rotation needs further investigation.

For the SV9 ventilation unit, leakage was measured under two different pressure conditions. In normal operation, the pressure difference in the heat recovery section P₂₂₋₁₁ was measured to be -44 Pa and in the adjust pressure conditions the pressure difference was 45 Pa. The measurement data results showed that under the improved pressure situation, the heat recovery in the leakage section decreased by 1% and by 14.3% for the 100% running rotor, which is a significant difference between the measured results. From this we can conclude that in the adjust pressure situation, it is possible to distribute the significant internal leakage of heat recovery and thus make it more energy efficient and is important for supply air quality.

It can therefore be concluded from the measurement data that the efficiency of heat recovery units is influenced by a number of different factors, and certainly not all factors could be analysed in the framework of this dissertation. Leakage in heat recovery units could be considered a key factor, and considering the increasing focus on supply air quality in the context of the COVID-19 pandemic, the results of the study suggest that leaks and leak sizes that significantly affect supply air quality and the actual efficiency of heat recovery are the main problem with heat recovery units. Considering that the heat recovery efficiency of most ventilation systems displayed in building automation systems does not take into account leaks in heat recovery units or differences in air volumes, for example on the supply and exhaust side, the operator may get the impression that the heat recovery unit performs very efficiently, which may not be true.

Due to time constraints, it was not possible to determine OACF leak sizes in this study. The author was also unable to analyse and calculate the temperature ratio by the NTU method and compare them with the measured temperature ratio.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] J. Kurnitski, „2018-11-14 EKVÜ Kurnitski.pdf,” 14 11 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ekvy.ee/et/component/framework/event/history/show/116>. [Kasutatud 08 03 2021].
- [2] T. Tark, „Soojustagastite kasutegurid,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.hevac.ee/wp-content/uploads/2016/04/Soojustagastite.pdf>. [Kasutatud 22 02 2021].
- [3] H. V. T. T. Enno Abel, Hoonete energiatarve ja sisekliima, 2. parandatud ja täiendatud trükk toim., Tallinn: OÜ Presshouse, 2014.
- [4] P. G. Schild, „Air-to-Air Heat Recovery in Ventilation Systems,” juuni 2004. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/VIP/VIP06_Heat_Recovery.pdf. [Kasutatud 12 03 2021].
- [5] University of Warwick Science Park, „A Guide to Energy Efficient Ventilation,” märts 1996. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Guides/GU03%20GUIDE%20TO%20ENERGY%20EFFICIENT%20VENTILATION.pdf.
- [6] Homeowner Protection Office, „Heat recovery ventilation guide for houses,” 2015. [Võrgumaterjal]. Available: http://energysavenewwest.ca/wp-content/uploads/2016/09/12-HRV-Guide-for-Houses-%20Compiled_web.pdf. [Kasutatud 08 03 2021].
- [7] T. Richter, „Crossflow or counterflow?,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hoval-energyrecovery.com/en/blog/enventus-1/crossflow-or-counterflow>. [Kasutatud 11 03 2021].
- [8] E. C. Certification, „Air to Air plate and tube heat exchangers,” 05 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.eurovent-certification.com/sites/default/files/2020-07/ECP%2008-2020%20AAHE.pdf>. [Kasutatud 13 03 2021].
- [9] FläktGroup, „Technical Handbook, Rotary heat exchangers,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=9e4745d0-13dc-4352-8011-638c82f637aa>. [Kasutatud 13 03 2021].
- [10] T. T. Targo Kalamees, „Madalenergia- ja liginullenergiahoone kavandamine. Väikeelamu,” 2012. [Võrgumaterjal]. Available:

<https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Madalenergia-%20ja%20liginullenergiahoone%20kavandamine.%20Juhend%20v%C3%A4ike%20elamute%20projekteerijale,%20ehitajale%20ja%20tellijale.pdf>. [Kasutatud 08 03 2021].

- [11] European Committee for Standardization, „prEN 308:2020, Heat exchangers - Test procedures for establishing performance of air,” European Committee for Standardization, 2021.
- [12] M. E. S.-. J. AKREDITEERIMISKESKUS, „Hoonete ventilatsioon. Osa 3: Mitteiluhoonete ventilatsioon. Üldnõuded ventilatsiooni- ja ruumiõhu konditsioneerimise süsteemidele (Moodulid M5-1, M5-4), EVS-EN 16798-3:2017,” oktoober 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-en-16798-3-2017>. [Kasutatud 08 03 2021].
- [13] European Industry Association, „Eurovent REC 6-15 - Air Leakages in Air Handling Units - First Edition - 2021 - EN_0,” 2021. [Võrgumaterjal]. Available: https://eurovent.eu/sites/default/files/Eurovent%20REC%206-15%20-%20Air%20Leakages%20in%20Air%20Handling%20Units%20-%20First%20Edition%20-%202021%20-%20EN_0.pdf. [Kasutatud 14 04 2021].
- [14] REHVA, *REHVA COVID-19 guidance document, August 3, 2020*, 2020.

LISAD

Lisa 1. SV4 ventilatsiooniseadme tehniline andmeleht

Lisa 2. SV9 ventilatsiooniseadme tehniline andmeleht

Lisa 3. SV11 ventilatsiooniseadme tehniline andmeleht

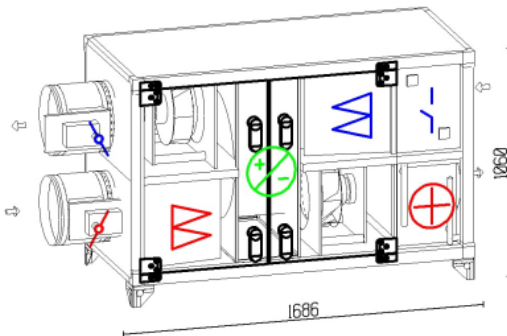
Lisa 1. SV4 ventilatsiooniseadme tehniline andmeleht

ventilatsiooniagregaadi valikuprogramm | SystemairCAD Versioon C2017-02.09.G1+ | 10.08.2017

Kokkuvõtte seadmele nr. 3

Topvex SR 03 HW (27877)

Projekt
Süsteemi nr. Akadeemia tee 5a
sv4 /



Topvex seadmed on toodetud koos täieliku ja integreeritud kontrollsüsteemiga - baseeruvad Systemair kontrollseadmetel.

Õhu/ventilaatori andmed	Sissepuhe	Väljatõmme	
Õhuhulk (1,205 kg/m³)	0.20	0.20	m³/s
Kiirus ristlõikes (seadmes)	0.83	0.83	m/s
Väline rõhk	120	120	Pa
Ventilaatori kiirus	1788	1716	RPM
Pinge	1x230		V



Agregaadi andmed

Seadme laius	750 mm
Kaal	215 kg
Ecodesign (arvutatud nominaalse õhuvooluga)	2016 - Kinnitatud 2018 - Kinnitatud
Filter	Sissepuhutav õhk F7 - Väljatõmbeõhk M5
Soojusvaheti	89.1 %
SFPv, puhaste filtrite korral	1.35 kW/(m³/s)
Küte	Õhk 1.9 kW - 11.2/19.0°C
	Vesi 60/33°C - 0.5 kPa - 0.02 l/s - 1/2" / 1/2" Toruühendused

Müratase	Sissepuhkeõhk	Välisõhk	Väljalaskeõhk	Väljatõmbeõhk	Müra ümbritsevasse keskkonda	Müravõimsuse tase, ainult sissepuhkel
Kogu	64 dB(A)	57 dB(A)	68 dB(A)	59 dB(A)	47 dB(A)	44 dB(A)

Systemair AS

Telefon : +372 6061888
Faks : +372 6061889
www.systemair.ee
systemair@systemair.ee



Lisa 2. SV9 ventilatsiooniseadme tehniline andmeleht



AIR HANDLING UNIT eQ

Project	64 () / Mäepealse lisa	Acon 2.55.47452
AOC	ACON-02681423	
Unit	4 () / SV-9	2021-04-21
Size	005	Page 4/10
Customer		
Customers ref.		
Our ref.	Alo Mikola	
Supply air volume flow rate	0.18 m³/sec	Exhaust air volume flow rate 0.18 m³/sec
External static pressure	180 Pa	External static pressure 180 Pa
Mains electricity	3x400VAC±10%+N+PE, 50Hz	Weight 548 kg
Specific el. power demand (SFPv)	1.53 kW/(m³/s)	Dimensioned for wet condition
Ref. density	1.2 kg/m³	Ref. altitude above sea level 0 m

SUMMARY TECHNICAL SPEC.

Unit			
Supply air volume flow rate	0.18 m³/sec	Installation	Indoor horizontal
External static pressure	180 Pa	Material	AlZn sheet steel
Internal static pressure	219 Pa	Thermal insulation	T3
Exhaust air volume flow rate	0.18 m³/sec	Condensation insulation	TB3
External static pressure	180 Pa	Leakage class	L1(M) / L2(R)*
Internal static pressure	138 Pa	Casing strength	D1(M)
Design outdoor temperature summer	27 °C	Sum filtration supply air	ePM1 - 55.0%
Dim. humidity summer	60 %	Sum filtration exhaust air	ePM10 - 50.0%
Design outdoor temperature winter	-21 °C		
Dim. humidity winter	90.1 %		
Temperature in, supply air, summer	15 °C	Temperature in, extract air, summer	25 °C
Air humidity in, supply air, summer	50 %	Air humidity in, extract air, summer	55 %
Temperature in, supply air, winter	20 °C	Temperature in, extract air, winter	22 °C
Air humidity in, supply air, winter	40 %	Air humidity in, extract air, winter	20 %
Mixing ratio at winter design temperature	0 %		
Temperature efficiency (EN308)	91.2 %	Heat recovery capacity	9.9 kW
SFPv supply air	0.81 kW/(m³/s)	Total dry weight	548 kg
SFPv exhaust air inlet	0.71 kW/(m³/s)		
SFPv total sum	1.53 kW/(m³/s)	Heaviest block	204 kg

ErP (according to (EU) directive 1253/2014)



Approved according to requirements 2018

Unit type: NRVU BVU	
SFPint (2016: 1899 W/(m³/s), 2018: 1619 W/(m³/s))	506 W/(m³/s)
Dry temperature efficiency (balanced) (EN308) (2016: 67 %, 2018: 73 %)	91.2 %
External leakage rate	1.4 %
Internal leakage rate	0.0 %

	Supply air	Extract air	Unit
Heat exchanger pressure drop	104	104	Pa
Filter energy classification	C	E	
Filter pressure drop, start	14	8	Pa
Filter area	0.3	0.3	m²
Filter cross section air velocity	0.7	0.8	m/s
Air flow	0.18	0.20	m³/sec
Total pressure rise	353	299	Pa
Fan fan system effect	0	0	Pa
Fan total efficiency	43.6	47.5	%
Fan system input power (absorbed electrical power) according to SFP	0.147	0.129	kW

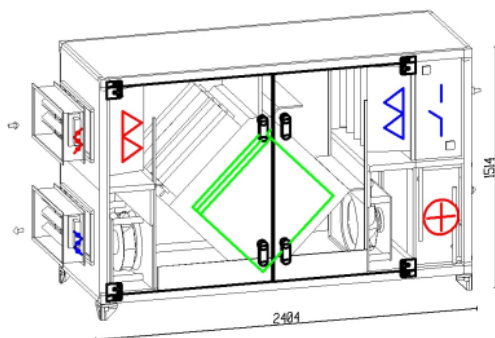
Lisa 3. SV11 ventilatsiooniseadme tehniline andmeleht

ventilatsiooniagregaadi valikuprogramm | SystemairCAD Versioon C2017-02.09.G1+ | 10.08.2017

Kokkuvõtte seadmele nr. 2

Topvex SX/C 06 HW (29652)

Projekt Akadeemia tee 5a
Süsteemi nr. SV11 /



Topvex seadmed on toodetud koos täieliku ja integreeritud kontrollsüsteemiga - baseeruvad Systemair kontrollseadmetel.

Õhu/ventilaatori andmed	Sissepuhe	Väljatõmme	
Õhuhulk (1,205 kg/m ³)	0.56	0.50	m ³ /s
Kiirus ristlõikes (seadmes)	1.17	1.04	m/s
Väline rõhk	230	230	Pa
Ventilaatori kiirus	2302	2181	RPM
Pinge	3x400		V



Agregaadi andmed

Seadme laius	877 mm
Kaal	395 kg
Ecodesign (arvutatud nominaalse õhuvooluga)	2016 - Kinnitatud 2018 - Kinnitatud
Filter	Sissepuhutav õhk F7 - Väljatõmbeõhk M5
Soojusvaheti	87.7 %
SFPv, puhaste filtrite korral	1.62 kW/(m ³ /s)
Küte	14.5 kW - 0.0/21.0°C
	Vesi
	60/30°C - 2.7 kPa - 0.12 Vs - 1/2" / 1/2" Toruühendused

Külmas kliimas ja kui on kasutusel möödaviguga sulatus, on vajalik eelkütte kasutamine. Kontrollige sisseehitatud ellküttekeha võimsust sisestades välisõhu temperatuuri otse kütteseadme näitajatesse.

Müratase	Sissepuhkeõhk	Välisõhk	Väljalaskeõhk	Väljatõmbeõhk	Müra ümbritsevasse keskkonda	Müravõimsuse tase, ainult sissepuhkol
Kogu	76 dB(A)	59 dB(A)	76 dB(A)	58 dB(A)	55 dB(A)	53 dB(A)

Systemair AS

Telefon : +372 6061888
Faks : +372 6061889
www.systemair.ee
systemair@systemair.ee

