

EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut



Karl Randmaa

**VENTILATSIOONISEADME KASUTEGURI MÄÄRAMISE
METOODIKATE VÕRDLUS**

Comparison of a Ventilation Unit Efficiency Calculation Methods

Bakalaureusetöö
energiakasutuse erialal

Tartu 2014

Olen koostanud bakalaureusetöö iseseisvalt. Kõik minu töös kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad ning kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viitatud.

Bakalaureusetöö koostaja: **Karl Randmaa**

.....
(kuupäev) (allkiri)

Juhendaja: **Nooremteadur Priit Pikk**

.....
(kuupäev) (allkiri)

Retsensent: **Lektor Vahur Põder**

.....
(kuupäev) (allkiri)

Töö vastab kehtivatele nõuetele. Kaitsmisele lubatud.

Energeetika osakunna juhataja:

dots. Andres Annuk

.....
(kuupäev) (allkiri)

ABSTRACT

Randmaa K. Comparison of a Ventilation Unit Efficiency Calculation Methods, Bachelor's thesis, bound in 2 copies. Tartu: EMÜ, 2014. 53 pages, 15 figures, 7 tables, format A4. In Estonian language

The aim on this bachelor's thesis is to introduce the possibilities of calculating the efficiency of the heat recovery ventilation system. The following three opportunities were brought up- temperature-, humidity- and the fan electrical efficiency methods. Temperature and humidity ratios both are calculated on the supply air side and exhaust air side. The research also concluded that the fan electrical efficiency method is calculated much like in the temperature ratio method on the exhaust air side but the specific fan power is added to the numerator of the initial formula.

The bachelor thesis consist of three parts- introduction of the methods, introduction of the equipment of which the test were taken and thirdly the test result review including evaluation on the outcome.

The test result indicated that efficiency found on the exhaust air side is higher than calculated on the supply air side. Also the efficiencies calculated with the temperature ratio methods were more stable than found with the humidity ratios. Thirdly the efficiency calculated with the fan power usage was found with the higher rate than with the temperature ratio method on the exhaust air side. Also the difference between the efficiency on the work mode and on the sleep mode was brought out.

Keywords: heat recovery, efficiency, ventilation unit, temperature, humidity, specific fan power

SISUKORD

TÄHISED JA LÜHENDID	4
SISSEJUHATUS	6
1. METOODIKAD NING NENDE KIRJELDUS	7
1.1 Metoodikate valik ja vastavus standarditele	7
1.2 Ventilatsioonisüsteemi kirjeldus ja katse seadistus	8
1.3 Temperatuuri suhte meetodika	9
1.4 Niiskuse suhte meetodika	10
1.5 Temperatuuri ja niiskuse suhte kasuteguri leidmise katse nõudmised	11
1.6 PHI elektrikulu meetodika.....	11
1.7 SFP.....	13
2. KASUTATUD SEADMED NING NENDE PAIGUTUS	15
2.1 Temperatuuri ja niiskuse mõõtmine	15
2.2 Elektrikulu mõõtmine	16
2.3 Katseseade	19
3. TULEMUSTE ANALÜÜS JA HINNANG	20
3.1 Esimese mõõtmise katsetulemused.....	20
3.2 Esimese katse temperatuuri suhte meetodi arvutus	22
3.3 Esimese katse õhu niiskussisalduse suhte meetodi arvutus	22
3.4 Teise mõõtmise katsetulemused	23
3.5 Teise katse temperatuuri suhte meetodi arvutus	25
3.6 Teise katse õhu niiskussisalduse suhte meetodi arvutus.....	26
3.7 PHI elektrikulu meetodika.....	27
3.8 PHI elektrikulu katse arvutused.....	29
3.9 Arutelu	30
KOKKUVÕTE	33
KIRJANDUS	34
LISAD	35
Lisa A Elektrikulu arvesti LEM AT 5 B5 ühendamine ventilatsiooniseadmega.	36
Lisa B Esimese katse mõõtmiste tulemused ja kasutegurid.	37
Lisa C Teise katse mõõtmistulemused ja kasutegurid.	42
Lisa D Õhuvooluhulga andmed.	48
Lisa E Elektrikulu ja väljapuhke temperatuuri suhtes leitud kasutegurite võrdlus.	53

TÄHISED JA LÜHENDID

C_p	- õhu soojusmahtuvus Wh/(kg·°C)
\dot{m}	- õhu massi vooluhulk kg/h (ka l/s)
P_{el}	- ventilaatori elektritarbimine W
P_{el1}	- esimese ventilaatori elektrivõimsus W
P_{el2}	- teise ventilaatori elektrivõimsus W
SFP	- ventilaatori elektri erivõimsus W/(kg/h)
q_{m11}	- väljatõmmatava õhuhulga kiirus kg/s
q_{m12}	- väljapuhutava õhuhulga kiirus kg/s
q_{m21}	- sisse tõmmatava õhuhulga kiirus kg/s
q_{m22}	- sissepuhutava õhuhulga kiirus kg/s
x_{11}	- väljatõmmatava õhu niiskus
x_{12}	- väljapuhutava õhu niiskus
x_{21}	- sisse tõmmatava õhu niiskus
x_{22}	- sissepuhutava õhu niiskus
θ_{11}	- väljatõmmatava õhu temperatuur °C
θ_{12}	- väljapuhutava õhu temperatuur °C
θ_{21}	- sisse tõmmatava õhu temperatuur °C
θ_{22}	- sissepuhutava õhu temperatuur °C
η_{ft}	- ventilaatori summaarne kasutegur
η_p	- ventilatsioonisüsteemi kasutegur arvestades elektrikulu
$\eta_{x, su}$	- ventilatsioonisüsteemi kasutegur sisse tõmmatava õhu niiskuse parameetri suhtes
$\eta_{x, ex}$	- ventilatsioonisüsteemi kasutegur väljatõmmatava õhutemperatuuri suhtes
$\eta_{\theta, su}$	- ventilatsioonisüsteemi kasutegur sisse tõmmatava temperatuuri suhtes

$\eta_{\theta, ex}$ - ventilatsioonisüsteemi kasutegur väljatõmmatava õhu temperatuuri suhtes

Δp_m - ventilatsiooniseadme rõhulang Pa

Δp_t - torustiku rõhulang Pa

Δp_v -ventilaatori rõhutõus Pa

SISSEJUHATUS

Inimkond on ajaloost õppinud ning teinud järeldused, et loodusvarad ei kesta lõpmatult ja elada tuleks võimalikult energiasäästlikult. Arendatakse autosid, et nad tarbiksid võimalikult vähe fossiilseid kütuseid, testitakse elektri autosid; soojustatakse maju eesmärgiga alanda küttekulu, valitakse optimaalsed seadmed ja lahendused hoonete kütmiseks.

Üheks selliseks soodsaks hoone kütte lahenduseks peetakse soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi, mis lihtsustatud skeemil kasutab ära ruumi õhu soojusenergia kütteks õuest tuppä toodavat õhku. Sellega minimaliseeritakse vajadus kasutada lisaküttekeha soovitud sisekliima saavutamiseks.

Soojustagastusega ventilatsiooniseadme efektiivsuse hindamise jaoks kasutatakse kasuteguri mõistet, mis näitab kui palju kasulikku tööd ventilatsiooni seade teeb kogu töö suhtes. Kasutegur saab jääda vahemikku 0- 1. Kasutegur väärtusega 0 näitab, et ventilatsiooniseadme töös hoidmiseks ei tehti kasulikku tööd ning kasutegur 1 näitab, et kõik töö, mis ventilatsiooniseadme töös hoidmiseks tehakse on kasumlik.

Bakalaureusetöö esimeses osas kirjeldataksegi kasuteguri leidmise meetodikaid ning põhimõtteid. Teises osas kirjeldati ventilatsiooniseadme kasuteguri leidmise jaoks katseseadmeid ning nende täpsusklasse millega mõõdeti Eesti Maaülikooli Tehnikamaja üht ventilatsiooniseadet. Uurimustöö kolmandas osas esitati katsetulemused ning hinnati erinevete meetodikatega leitud kasutegurite suurus.

Käesoleva bakalaureuse töö eesmärgiks on anda lugejale ülevaade ventilatsiooniseadme efektiivsuse hindamise võtetest ning olla kasutatav juhendina ventilatsiooniseadme kasuteguri leidmisel.

1. METOODIKAD NING NENDE KIRJELDUS

1.1 Metoodikate valik ja vastavus standarditele

Metoodikate valimisel lähtuti ventilatsioonisüsteemi iseärasustest ning vastavust standarditele. Tänapäeval ehitatakse pea kõik majad passiivmajade näitel, mille soojusvajadus on madal ning ruumide soojendamiseks on teoreetiliselt tarvis ainult ventilatsioonisüsteemi, mis jagaks soojuse laiali ning tagaks vajaliku õhuvahetuse. Ventilatsioonisüsteemid valitakse soojustagastusega, millega tagatakse väljatõmmatava õhu soojusliku energia taaskasutus. Selle protsessiga kantakse soojusenergia üle õuest sisse tõmmatavasse õhku ehk, millega kindlustatakse sissepuhutava õhu soojus. Taolisel viisil peab passiivmajade ventilatsioonisüsteem peab tagama vähemalt 75-protsendilise soojustagastuse [1].

Soojustagastid jagunevad peamiselt kaheks- rekuperatiivseteks ning regeneratiivseteks. Rekuperatiivseteks soojustagastiteks nimetatakse selliseid soojustagasteid, mille soojusülekanne suund ei muutu ajaühikus. Küll kasutatakse rekuperatiivset soojustagastust jahutina suveperioodil, kui soojustagastiga jahutatakse sissetulevat välisõhku. Rekuperatiivsete soojustagastite näideteks on plaatisoojusvaheti ja vahesoojuskandjatega soojustagasti. Regeneratiivseteks soojustagastiteks nimetatakse selliseid soojustagasteid, mille soojusülekanne toimub tsükliliselt ning soojusülekanne suund muutub lühikeste ajavahemikega. Regeneratiivsete soojustagastite näideteks on rootortagastiga soojustagastid [2].

Nüüdisajal peavad kõik uued ehitised, paigaldatavad seadmed, masinad jne., vastama nõuete kogumitele, mis on heaks kiidetud ja koostatud mõne tunnustatud asutuse poolt normdokumentidega. Nendeks dokumentidega ongi standardid, mis määravad paigaldise, seadme, ehitise vms., juhised normaalseks töökäsitluseks, optimaalseks kasutamiseks, töökorda seadmiseks, katsetamiseks jne.

Käesolevas bakalaureusetöös on kasutatud ventilatsiooniseadme kasuteguri leidmise jaoks kaht standardit:

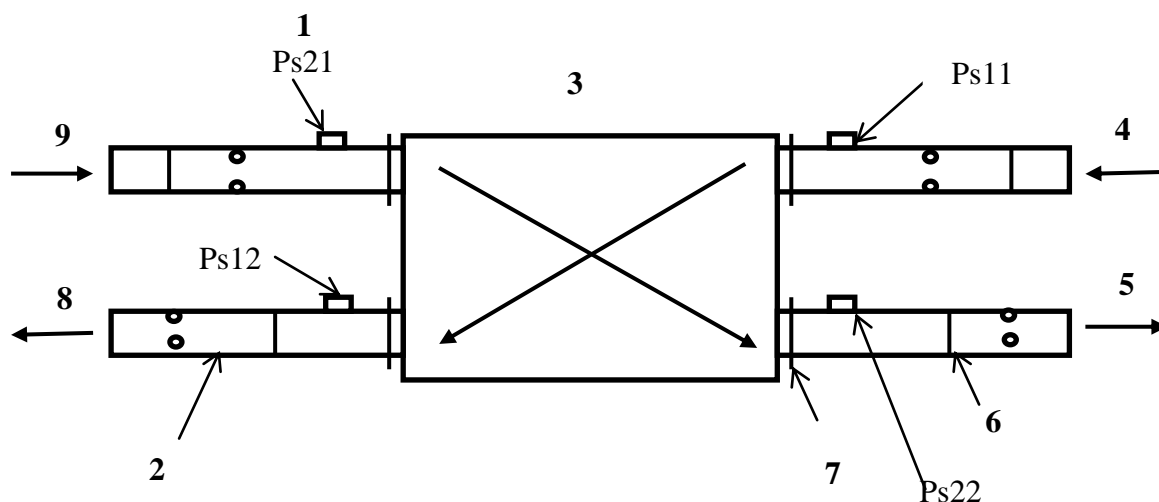
Hoonete ventilatsioon- Elamute ventilatsiooniseadmete ja –komponentide katsetamine – Osa 7: Ühepereelamutele mõeldud sundsventilatsiooni süsteemide sissepuhke/väljatõmbe seadmete (sh. soojustagastuse) katsetamine. (EVS-EN 13141-7:2010);

PHI ehk *Passive House Planning Institute* normdokumenti, mis vastab standardile EN-ISO 13790. Standard sisaldab endast ehitise energiatõhusust- arvutused energia kasutuseks ruumi soojendamiseks ja jahutamiseks.

Loetud standardite näitel leiti kolm metoodikat ventilatsioonisüsteemi kasuteguri leidmiseks- temperatuuri suhte metoodika, niiskuse suhte metoodika, ning PHI elektrikulu metoodika.

1.2 Ventilatsioonisüsteemi kirjeldus ja katse seadistus

Selleks, et kirjeldada metoodikaid kasuteguri leidmiseks kirjeldati joonise 1.1 näitel ventilatsioonisüsteemi tööks vajalikud elemendid ning mõisted.



Joonis 1.1. Ventilatsiooni süsteemi piltlik skeem: 1- baromeeter; 2- temperatuuri ja niiskuse mõõdikud; 3- soojusvaheti; 4- välja tõmmatav õhk; 5- sisse puhutav õhk; 6- vaheplaat; 7- ühendus; 8- välja puhutav õhk; 9- välis õhk/ sissetõmmatav õhk.

Erinevate kirjandusallikate põhjal defineeritakse mõningaid mõisteid erisuguselt. Käesolevas bakalaureusetöös on töö autor joonise 1.1 abil selgitanud nelja mõistet aitamaks selgitada erinevaid metoodikaid- sissetõmme, sissepuhe, väljatõmme, väljapuhe.

Sissepuhke all mõistetakse antud töös välisõhule vastavaid parameetreid. Sissetõmbe mõistena on mõeldud ruumi siseneva õhu parameetrid, mis on läbinud soojusvaheti. Väljatõmbena on määratud ruumist lahkuva õhu parameetrid enne soojusvahetit. Väljapuhkena on kirjeldatud õhu parameetreid, mis on läbinud soojusvahetit ning suubub tagasi välja.

1.3 Temperatuuri suhte meetoodika

Temperatuuri suhte meetoodika vastab standardile EVS-EN 13141-7:2010. Selle meetodi puhul arvestatakse temperatuurimuutusi ventilatsioonisüsteemi erinevates punktides ning õhuvoolude hulkade kiirusi. Temperatuuri suhte meetod vastab järgmisele seosele:

$$\eta_{\theta, su} = \frac{\theta_{22} - \theta_{21} \cdot q_{m22}}{\theta_{11} - \theta_{21} \cdot q_{m11}}, \quad (1.1)$$

Selline mõõtmine, mis sooritatakse vastavalt seosele 1.1, rakendatakse mõõteprotsessis kasuteguri leidmist sissepuhke temperatuuri suhtes. Valemi lugejas arvestatakse sissepuhke ja sisetõmbe temperatuuride vahet ehk arvestatakse välisõhu liikumist läbi soojusvaheti kuni siseruumi jõudmiseni. Valemi nimetajas arvestatakse väljatõmbe ning sisetõmbe temperatuuride vahet ehk võrreldakse ruumis jahtunud õhu ja välisõhu temperatuuride erinevust. Lisaks arvestatakse valemis 1.1 ruumi sissepuhutava ja väljatõmmatava õhuvoolu hulkade kiiruse erinevusi. Süsteemi loetakse tasakaalustunuks, kui õhuvoolu hulkade kiiruste erinevus ei ole suurem, kui 3%.

Võimalik on sooritada mõõtmist ruumist väljapuhutava õhu parameetrite suhtes. Seda vastavalt järgmisele seosele:

$$\eta_{\theta, ex} = \frac{\theta_{11} - \theta_{12} \cdot q_{m12}}{\theta_{11} - \theta_{21} \cdot q_{m21}}, \quad (1.2)$$

Valemis 1.2 arvestatakse lugejas väljatõmmatava õhu ja väljapuhutava õhu vahet ehk õhu teekonda siseruumist tagasi väliskeskonda ning nimetajas väljatõmmatava õhu ning sisse tõmmatava õhu temperatuuride vahet ehk siseruumi jahtunud õhu temperatuuri ning välistemperatuuri vahet. Lisaks arvestatakse valemis 1.2 väljapuhutava ja sisse tõmmatavate õhuvoolude hulkade kiiruste erinevusi. Süsteemi loetakse tasakaalustunuks, kui õhuvoolu hulkade kiiruste erinevus ei ole suurem, kui 3%.

Ehitusseaduse § 3 lõigu 7³ alusel koostatud määruse hoonete energiatõhususe arvutamise meetoodika 5. peatükk- Tehnosüsteemide energiakausutuse arvutusreeglid § 18. Soojustagastuse arvutus määrab ära kasuteguri, kui pole teada tootja andmed järgmiselt:

- ristivoolu plaatsoojusvahetitele 60%;

- vastuvoolu plaatsoojusvahetitele 70%;
- rootorsoojusvahetitele 70%;
- vahesoojuskandjaga soojusvahetile 40%.

1.4 Niiskuse suhte meetoodika

Niiskuse suhte meetoodika vastab standardile EVS-EN 13141-7:2010 Selle meetoodika puhul arvestatakse ventilatsioonisüsteemi niiskuse parameetreid ventilatsioonisüsteemi erinevates punktides. Niiskuse suhte meetod vastab järgmisele seosele:

$$\eta_{x,su} = \frac{x_{22} - x_{21} \cdot q_{m22}}{x_{11} - x_{21} \cdot q_{m11}}, \quad (1.3)$$

Selline mõõtmine, mis sooritatakse vastavalt seosele 1.3, rakendatakse mõõteprotsessis kasuteguri leidmist sissepuhke niiskuse parameetri suhtes. Valemi lugejas arvestatakse sissepuhke ja sissetõmbe niiskusparameetrite vahet ehk arvestatakse välisõhu liikumist läbi soojusvaheti kuni siseruumi jõudmiseni. Valemi nimetajas arvestatakse väljatõmbe ning sissetõmbe niiskusparameetrite vahet ehk võrreldakse ruumis jahtunud õhu ja välisõhu suhtelise õhuniiskuse erinevust. Lisaks arvestatakse valemis 1.3 ruumi sissepuhutava ja väljatõmmatava õhuvoolu hulkade kiiruse erinevusi. Süsteemi loetakse tasakaalustunuks, kui õhuvoolu hulkade kiiruste erinevus ei ole suurem, kui 3%.

Võimalik on sooritada mõõtmist niiskuse meetoodika järgi ruumist väljapuhutava õhu parameetrite suhtes. Seda vastavalt järgmisele seosele:

$$\eta_{x,ex} = \frac{x_{11} - x_{12} \cdot q_{m12}}{x_{11} - x_{21} \cdot q_{m21}}, \quad (1.4)$$

Valemis 1.4 arvestatakse lugejas väljatõmmatava õhu ja väljapuhutava õhu niiskusparameetrite vahet ehk õhu teekonda siseruumist tagasi väliskeskonda ning nimetajas väljatõmmatava õhu ning sisse tõmmatava õhu niiskusparameetrite vahet ehk siseruumi jahtunud õhu niiskuse ning välisõhu niiskuse vahet. Lisaks arvestatakse valemis 1.4 väljapuhutava ja sisse tõmmatavate õhuvoolude hulkade kiiruste erinevusi. Süsteemi loetakse tasakaalustunuks, kui õhuvoolu hulkade kiiruste erinevus ei ole suurem, kui 3%.

Selliste mõõtmiste meetoodikate puhul on arvestatud ainult õhuparameetrite muutumist, küll aga mitte elektrikulu, mis on määravaks teguriks ventilatsioonisüsteemi valikul.

Valemis 1.4 arvestatakse lugejas väljatõmmatava õhu ja väljapuhutava õhu niiskussisalduse vahet ehk õhu teekonda siseruumist tagasi väliskeskonda ning nimetajas väljatõmmatava õhu ning sisse tõmmatava õhu niiskussisealduse vahet. Lisaks arvestatakse valemis 2.2 väljapuhutava ja sisse tõmmatavate õhuvoolude hulkade kiiruste erinevusi. Süsteemi loetakse tasakaalustunuks, kui õhuvoolu hulkade kiiruste erinevus ei ole suurem, kui 3%.

Standardi EVS-EN 13141-7:2010 järgi loetakse kõik sissepuhke parameetrite suhtes leitud kasutegurite mõõtmisi kohustuslikuks ning väljapuhke parameetrite suhtes leitud kasutegureid valikuliseks, mis tähendab, et ventilatsiooniseadmete infokataloogides ning muudes tutvustavates materjalides kirjeldatakse ventilatsiooniseadme efektiivsust just sissepuhke parameetrite suhtes.

1.5 Temperatuuri ja niiskuse suhte kasuteguri leidmise katse nõudmised

Nõudmised nende meetodikate rakendamise kohta näevad ette, et rekuperatiivsete soojustagastitega ventilatsioonisüsteemide katsetamisel tuleb valida rootori nominaal pöörlemiskiirus, mis on määratud ventilatsiooniseadme tootja poolt ning regeneratiivsete soojustagastitega ventilatsioonisüsteemide katsetamisel tuleb läbipuhutatavat õhku reguleerida vastavalt ventilatsioonisüsteemi tootja soovitudele. Lisaks peab olema jäätumisvastane seade mõõtmiste ajal olema välja lülitatud, et saada korrektsed mõõtmistulemused.

Õhuvoolu reguleerimine toimub katse käigus ainult ühe korra kui saavutatakse sissepuhke temperatuur 20 °C ning õhutemperatuur on 7 °C. Teiste välistemperatuuride juures võib süsteemi tasakaalustada kuna õhu tihedus ruumis muutub. Katse käigus hoitakse kõik siibrid suletuna, et vältida energiakadusid.

Rõhk, temperatuur ning niiskus mõõdetakse joonisel 1.1 näidatud kujul. Juhul kui sisse puhutava ning välja tõmmatava õhu erinevus on märkimisväärne võivad ruumis olla külmasillad, soojuslekked või imendub liiga palju soojust ventilaatorisse.

1.6 PHI elektrikulu meetodika

Elektrikulu meetodiga arvestatakse lisaks õhutemperatuuride erinevustele ka ventilaatori elektritarvet. Selle meetodi arvutusvalem näeb välja järgmine:

$$\eta_p = \frac{(\theta_{11} - \theta_{12}) + \frac{P_{el}}{\dot{m} \cdot C_p}}{\theta_{11} - \theta_{21}}, \quad (1.5)$$

Metoodika näeb sarnane välja kasuteguri leidmisega välisõhu temperatuuride suhtes, mis on näidatud valemiga 1.2. Selline mõõtmine, mis sooritatakse vastavalt seosele 1.5, arvestatakse valemilugejas sissepuhke ja sissetõmbe temperatuuride vahet ehk arvestatakse välisõhu liikumist läbi soojusvaheti kuni siseruumi jõudmiseni. Lisaks liidetakse lugejale juurde katse elektriline olemus, milleks on ventilaatori võimsuse suhe ventilaatorit läbiva õhumassi vooluhulga ja õhu soojusmahtuvuse korrutisega. Valemilugejas arvestatakse väljatõmbe ning sissetõmbe temperatuuride vahet ehk võrreldakse ruumis jahtunud õhu temperatuuri ja välisõhu temperatuuride erinevust.

Nõudmised ventilatsiooniseadme kasuteguri leidmise metoodikale arvestades elektrikulu näevad ette, et välistemperatuur peab olema vahemikus -15 kuni 10 °C, efektiivne soojustagastus peab olema suurem, kui 75 %, elektrienergiavajadus ventilaatori töös hoidmiseks peab olema väiksem kui 0,45 W/(m³/h) iga kuupmeetri õhu kohta, sissepuhke temperatuur peab olema püsivalt vähemalt 16,5 °C, lekkemäär seadme korpusel ei tohi ületada 3 %, seadme soojaisolatsioon peab olema vähemalt 50 mm. Sissetõmbe ning väljapuhke õhuhulkade kiirused peavad olema tasakaalus, lubatud on kuni 10 protsendiline erinevus. Õhuhulkade tasakaalu kontrollitakse ja juhitakse kolmel eri tasandil: baastasand (70%-80%); standardõhuvahetus (100%) ja suurendatud õhuvahetus (130%) [3].

Ventilatsioonisüsteemi elektrikasutuses arvestatakse peamiselt ventilaatorite ning nende juhtimisseadmete elektritarvet. Väiksemal määral arvestatakse juurde ka abiseadmete (nt. jäätumisvastane-, jahutussüsteem) elektritarvet. Energiakulu kasutegur leitakse ventilatsioonisüsteemi seadmete võimsuse suhtega õhuvoolu arvutuslikku hulka. Õhuvoolu hulka arvestatakse sissepuhke või väljatõmbe õhuvoolu hulka. Valiku langetamise valitakse alati suurema õhuvoolu hulgaga tulemus. Suurtes ventilatsiooniseadmetes, kus õhuvoolu hulk on suurem kui 250 l/s arvestatakse elektrikulu igale ventilaatorile erinevalt, väiksematel seadmetel võib teha üldistusi arvutustes. Ventilaatori elektrivõimsus arvutatakse järgmise seosega:

$$P_{el} = \frac{\Delta p_v \cdot \dot{m}}{\eta_{ft}}, \quad (1.6)$$

Seos kujutab endast vajalikku elektrienergia võimsuse arvutust rõhulangu ning õhuvooluhulga korrutise suhte ventilaatori summaarsesse kasutegurisse. Kasutegur on üldjuhul määratud seadme tootja poolt või selle puudumisel leitakse kasutegur tabeli 1.1 alusel.

Tabel 1.1. Ventilaatori summaarse kasuteguri määramine võttes aluseks õhuhulka

\dot{m} , l/s	η_{ft}
<250	0,20
250–500	0,35
500–1000	0,40
1000–5000	0,45
>5000	0,50

Ventilaatori rõhulangu all mõistetakse rõhulangu ja torustiku rõhulangu summat, mis on näidatud ka valemiga 1.7.

$$\Delta p_v = \Delta p_m + \Delta p_t, \quad (1.7)$$

Ventilatsiooniseadme rõhulang kujutab endast ventilatsiooniseadme komponentide ja ventilaatori rõhulangude summat ventilatsiooniseadme ühenduspunktis. Torustiku rõhulang sisaldab endast enne ventilatsiooniseadme rõhulangu ja peale ventilatsiooniseadet mõõdetavat rõhulangu[4].

1.7 SFP

SFP on inglisekeelne termin, mis lahti kirjutates tähendab *specific fan power* ehk eesti keeles ventilaatori elektriline erivõimsus. Ventilatsiooniseadme üheks põhiliseks komponendiks on ventilaator, mis võtab enda alla suurema osa energiavajadusest seadet töös hoida. SFP on suhteliselt uus mõiste, mistõttu ei ole Eestis veel ära normeeritud ühegi õigusakti järgi norme ega standardeid. Ventilaatori erivõimsus arvutatakse järgmise valemiga

$$SFP = \frac{P_{el}}{\dot{m}}, \quad (1.8)$$

SFP näitab elektrienergia kulu vajaliku õhuvahetuse tagamiseks elektrivõimsuse suhet ventilaatorit läbiva õhuvoolu hulka. Ventilaatorit loetakse seda efektiivsemaks, mida väiksem on ventilaatori elektriline erivõimsus.

Soojustagastiga ventilatsioonisüsteemil on mitu ventilaatorit toimitakse vastavalt järgmisele seosele:

$$SFP = \frac{P_{el1} + P_{el2}}{\dot{m}}, \quad (1.9)$$

Sellises olukorras liidetakse ventilaatorite elektrivõimsused kokku ning jagatakse suurima õhuvoolu näitajaga.

Oluline on ära märkida, et ventilaatori elektriline erivõimsus arvestab ainult nende ventilaatorite võimsust, mille ülesanne õhuvahetuse tagamine. SFP arvutuses ei kasutata teiste elektriseadmete elektrivõimsusi, mis on vajalikud ventilatsiooniseadme tööks [5].

Üldjuhul esitatakse Euroopas ventilaatori elektriline erivõimsus ühikuga kW/(m³/s) või W/(m³/s), kuid esitatakse ka kujul kW/(l/s) või W/(l/s).

Sisuliselt on ventilaatori elektriline erivõimsus see suurus, mis liidetakse juurde väljapuhke õhu temperatuuride suhtes leitud kasuteguri lugejasse. SFP kujul esitatuna on välja taandatud õhu erimahtuvus, mis loetakse ligilähedaselt 1 Wh/(kg·°C).

2. KASUTATUD SEADMED NING NENDE PAIGUTUS

2.1 Temperatuuri ja niiskuse mõõtmine

Niiskuste ja temperatuuride mõõtmiseks kasutati nelja Velleman DVM171THD sensorit, mis ühendub arvutiga USB-liidesega. Andmeid on võimalik välja lugeda *Datalogger*'i programmiga. Seadeldis asetatakse keskkonda, kus soovitakse leida vastavaid niiskuse ja temperatuuride parameetreid. Andur salvestab endasse parameetri väärtuse sisemälusse ning hiljem on neid võimalik arvutist *Datalogger*'i abil mälust arvuti kõvakettale kopeerida.



Joonis 2.1. Velleman DVM171THD niiskuse ja temperatuuriandur.

Velleman DVM171THD on massiga 42 grammi ning mõõtmetega 101 x 25x 23 mm ning vajab tööks 3,6 voldise liitiumakut või patareid. Nii niiskuse kui ka temperatuuri jaoks suudab seadeldis salvestada 16 000 punkti ehk kokku 32 000 punkti. Tarkvara on kättesaadav ainult inglisekeelne ning mõõtmiste visaliseerimiseks peab arvutil olema vähemalt Windows XP, Vista või Windows 7. Mõõtmiste täpsust saab määrata järgmiselt: 2 s, 5 s, 10 s, 20 s, 1 min, 5 min, 10 min, 30 min, 60 min, 120 min, 180 min, 360 min, 720 min, 1440 min. Seadeldis võimaldab mõõta niiskust vahemikus 0% kuni 100 % [6]. Niiskuse mõõtmiste täpsus on näidatud tabelis 2.1.

Tabel 2.1. Niiskuse mõõtmise täpsus.

Niiskuse vahemik	Täpsus
0 %- 20 %	± 5,0 %
20 %- 40 %	± 3,5 %
40 %- 60 %	± 3,0 %
60 %- 80 %	± 3,5 %
80 %- 100 %	± 5,0 %

Tabelist 2.1 on näha, et mida lähemale normaaloludele (40%-60%) jääb mõõtevahemik seda täpsemad on niiskuse mõõtetulemused.

Temperatuure saab mõõta Velleman DVM171THD-ga vahemikus -40 °C kuni 70 °C. Temperatuuride mõõtmiste täpsus on antud tabelis 2.2.

Tabel 2.2. Temperatuuride mõõtmiste täpsus.

Temperatuuride vahemik	Täpsus
-40 °C kuni -10 °C	± 2 °C
-10 °C kuni +40 °C	± 1 °C
+40 °C kuni +70 °C	± 2 °C

Tabelist 2.2. on näha, et mida lähemale normaaloludele (20 °C) jääb mõõtevahemik seda täpsemad on temperatuuride mõõtetulemused.

2.2 Elektrikulu mõõtmine

Elektrikulu arveatamiseks kasutati vahelduvvoolu mõõtjat LEM AT 5 B5, mis on näidatud joonisel 2.1.

Kõik elektrikulu sensori LEM AT B5 tüüpi sensorid, mõõdavad voolu 16 millimeetrise avause kaudu, millest viiakse läbi mõõdetav faasijuhe. Selleks, et mõõdetav juhe avausest läbi viia, käib mõõteseadeldise korpus lahti. Kui mõõdetav juhe on paigaldatud suletakse

taas korpus, et juhe ei saaks sensorist mõõtmise käigus eemalduda. Ühendus on näidatud lisan A.



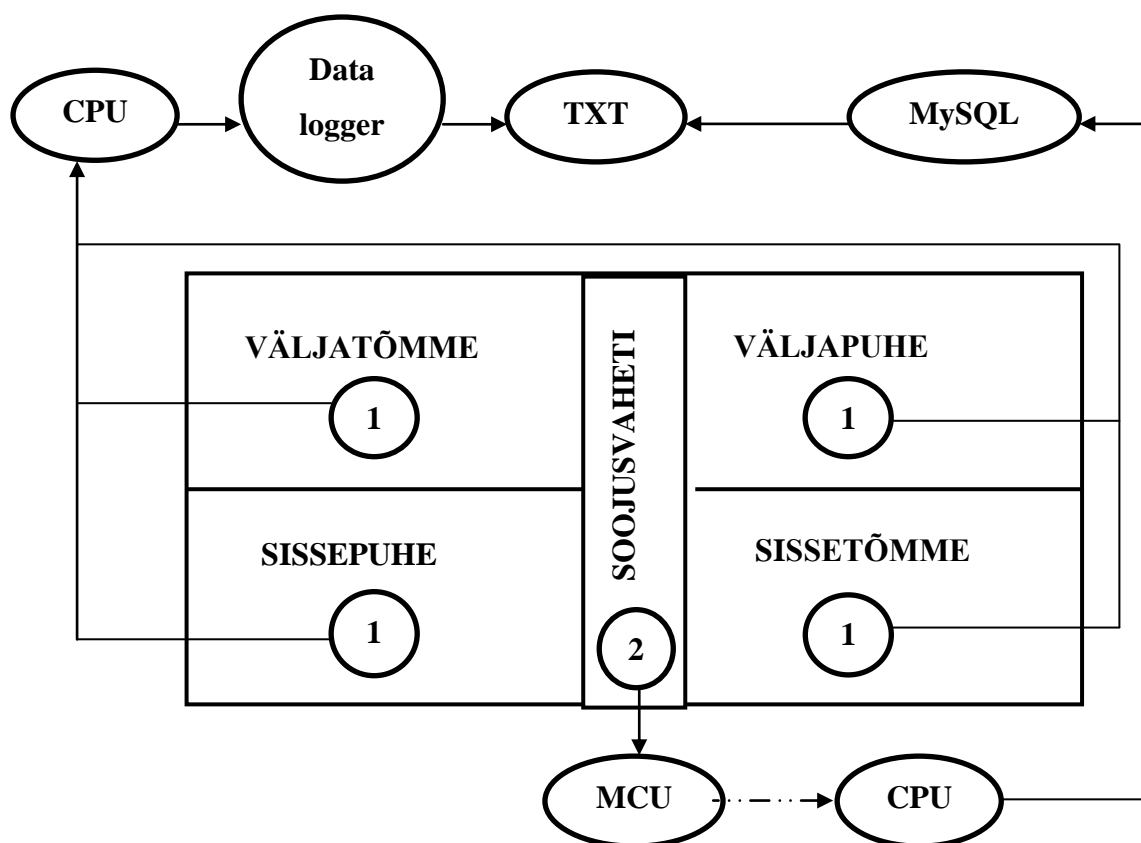
Joonis 2.1. Voolutugevuse sensor LEM AT 5 B5.

Seade mõõdab vahelduvvoolu ja seda sagedusvahemikus 50-60 Hz ning sensori ei vaja mõõtmiseks mingit lisaenergiat. LEM AT B5 on 25 °C juures täpsusega $\pm 1,5$ %. Reageerimisaeg on sensoril alla 300 millisekundi ning seda võib kasutada mõõtmisel, kus ümbruskonna temperatuur on -20°C kuni +60 °C. LEM AT B5 sensorid on kaitseklassiga IP 40, mis tähendab et niiskuse eest pole seade kaitstud ning seadmesse ei pääse ligi vähemalt 1 mm läbimõõduga esemega.

LEM AT 5 B5 nominaalvool on 5 A, mis annab väljundsignaali 0-5 V alalispinget [7]. See pinge suunatakse mikrokontrollerisse, kus muundatakse analoog signaal digitaalseks signaaliks vahemikuga 0- 1023, mis teeb ühiku täpsuseks 4,8 mV. Mikrokontrollerist saadetakse andmed *MySQL*'i, mis kujutab endast andmebaasi haldamise süsteemi. *MySQL*'s on esitatakse kasutajale digitaalsignaal tekstiformaadis, kus on loetav ühe faasi voolutugevuse mõõtepunkti ajahetkel. Digitaalsignaali teisendamiseks on korrutatatakse

mõõtepunkti digitaalsignaali 5-ga ning jagatakse 1023-ga. Tulemuseks saadakse ühe faasi vool amprites. Kuna võimsus on pingeline ja voolu korrutis, korrutati saadud vool faasipingega, milleks Eesti on 230 V. Saadud tulemus näitab võimsust ühe faasi kohta, mistõttu korrutati võimsus faaside arvuga, milleks on 3.

Mõõteriistade paigutust ning andete levikut on näitatud joonisel 2.4.



Joonis 2.4. Mõõteriistade paigutus ventilatsiooniseadmes ja andmesiire: 1- VellemanDVM171THD; 2- LEM AT 5 B5M; CPU- kompuuter; Data logger- Velleman DVM171THD niiskuse ja temperatuuri anduri andmeesitlus programm; MySQL- LEM AT 5 B5M anduri elektritarbe anduri andmeesitlus programm; TXT- andmete tekstiformaat.

Joonisel 2.4. on pidevpeenjoonega on tähistatud otseühendused ning punktcriipsjoonega andmete levik läbi õhu. Kambrite paigutus on märgitud samamoodi kui katsetataval seadmel.

2.3 Katseseade

Hinnangu andmiseks erinevate ventilatsiooniseadmete kasuteguri leidmiseks tehti vajalikud mõõtmised Tartus, Kreutzwaldi 56 asuvas Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi ventilatsiooniseadmega SWEGON GOLD 25 D RX, mis on toodetud Soomes aastal 2011. Katsetes kasutatud seade on näidatud joonisel 2.5. Seade koosneb seitsmest tähtsamast osast milleks on sissepuhke- ja väljapuhkeventilaatorid; sissetõmbe- ja väljatõmbe filtrid, rootorsoojusvaheti ning elektri- ja juhtimissüsteem. Lisadena on seadmele ühendatud eelfilter, puhastamaks sisse tõmmatavat õhku ning järelküte, soojendamaks sissepuhutavat õhku. Kogu seadme süsteem on täielikult integreeritud, mille tööd aitavad juhtida automaatseadmed. Nende protsessoritega saab juhtida kõiki ventilatsiooniseadmed hetkparameetreid nagu näiteks õhuhulkasid ning temperatuure.



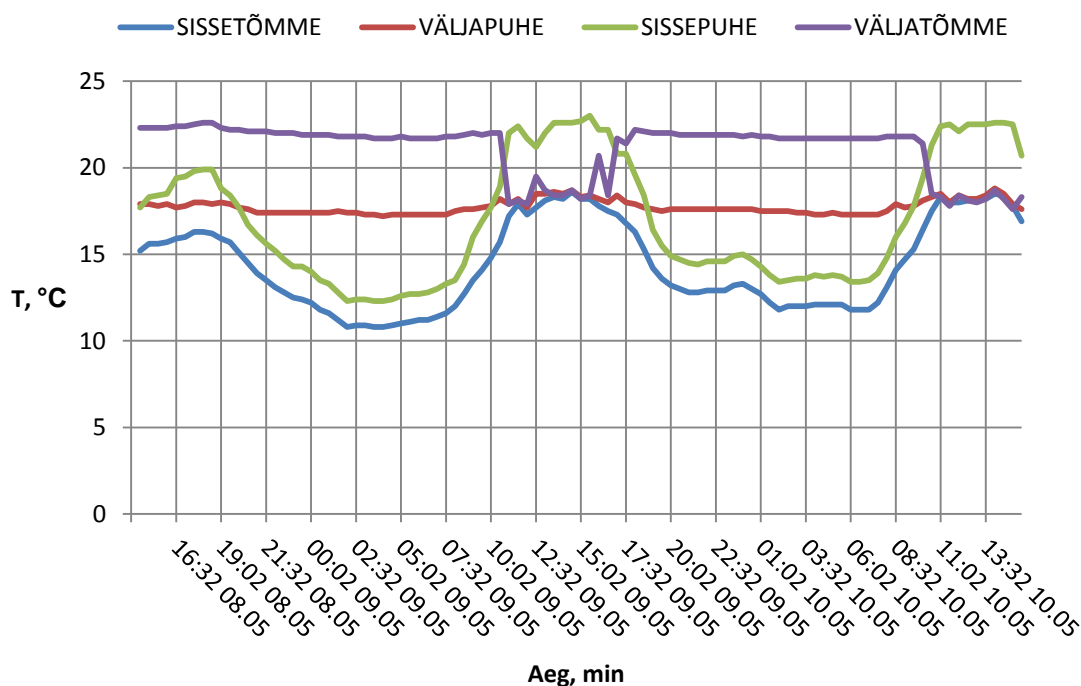
Joonis 2.5. Ventilatsiooniseade SWEGON GOLD 25 D RX Eesti Maaülikooli Tehnikamajas

Kõik SWEGON GOLD seeriast pärinevad ventilatsiooniseadmed on mõeldud kasutamaks koolides, büroohoonetes, kauplustes- ehk suuremates hoonetes. SWEGON GOLD 25 D RX-i peamised mõõdud on pikkusega 2220 mm, laiusega 1595 mm ja kõrgusega 1595 mm ning ventilatsiooniseadme mass umbes 840 kg. Õhuhulk, mis ventilatsiooniseadet läbib jääb vahemikku 0,3 kuni 2,2 m³/s ning SFP vastav näitaja 250 Pa rõhu juures on kataloogi järgi on lubatud kuni 2,10. Kasuteguriks antud seadmel pakutake kuni 0,85. Tööks vajalikuks elektrienergia saamiseks on seadmele ette nähtud kolme faasiline elektriühendus koos neutraali ja maandusjuhtmega. Toiteks kasutab ventilatsiooniseade kolmefaasilist vahelduvvoolu ja pinget sagedusega 50 Hz [8].

3. TULEMUSTE ANALÜÜS JA HINNANG

3.1 Esimese mõõtmise katsetulemused

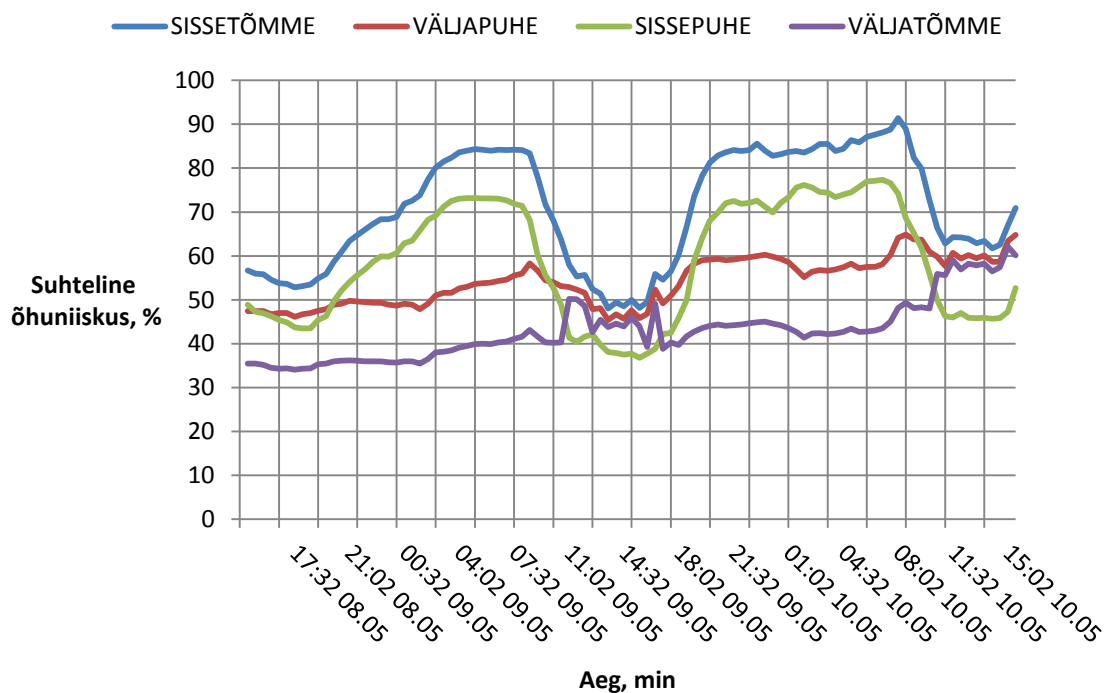
Ventilatsiooniseadme kasuteguri määramise jaoks jälgiti Tartus, Kreutzwaldi 56 asuvas Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi ventilatsiooniseadme SWEGON GOLD 25 D RX tööd ning võeti üles sissepuhke-, sissetõmbe-, väljapuhke- ja väljatõmbe parameetrid ajavahemikus 08.05.2014 kuni 10.05.2014. Katsel mõõdeti iga kolmekümne minuti tagant iga anduriga üks punkt, mis näitab vastaval ajahetkel niiskuse- ning temperatuuriparameetrid. Kokku võeti üles 99 punkti iga anduriga. Katseandmed on näidatud lisas B. Üles võeti temperatuuri ja niiskuse muutuse iseloomulikud tunnusjooned, mis on näidatud vastavalt joonisel 3.1. ja joonisel 3.2.



Joonis 3.1. Temperatuuri muutuse graafik mõõteperioodil 08.05.2014 kuni 10.05.2014.

Jooniselt 3.1. on näha, et sissepuhutava õhk temperatuur on kõrgem, kui sisse tõmmatava õhu temperatuur, mis on saavutatud õhu liikumisega läbi soojusvaheti. Küll aga ei ole sissepuhutav õhk tunduvalt kõrgem, mis on märk soojusvaheti madalast efektiivsusest. Joonisel 3.1. ilmneb umbes kella 11-st ajal 9-ndal maist kuni sama kuupäeva kella 6-ni rootorsoojusvaheti töö seisak ning ilmselt on ka selles ajavahemikus toimunud jahutus kõrge välistemperatuuri tõttu. Sarnane olukord esineb ka mõõteseria lõpus. Lisaks on tuvastatav katseandmetest, et väljatõmmatava õhu temperatuur on püsinud üsna stabiilsena

ümbes 22 °C juures kogu katse vältel, välja arvatud soojusvaheti tööseisakute ajal. Analoogselt on kulgenud ka väljapuhutava õhu temperatuur, mis on püsinud umbes 18 °C juures. Nende kahe joone vahe tuleneb jällegi soojusvaheti tööst, mille abil on umbes 4 °C vähendatud temperatuuri. See eraldatud soojus on kasutatud ära soojendamaks sisse tõmmatavat õhku.



Joonis 3.2. Õhu niiskussisalduse parameetrite ja kasutegurite muutuse graafik mõõteperioodil 08.05.2014 kuni 10.05.2014.

Joonis 3.2. võrreldes joonisega 3.1. on näha, et õhuniiskus ja õhu temperatuur käituvad oma tunnusjoonte kujult pöördvõrdeliselt, ehk mida madalam on temperatuur, seda suurem on õhus niiskuse sisaldus.

Katsetatava ventilatsiooniseadet katsetati üsna soojal ajaperioodil, mistõttu jahutamise ajal allu ventilatsiooniseade oma tööoleku režiimile ning kasuteguri tunnusjooned jahutuse ajal muudaksid graafikute lugemise raskendatuks. Joonistele 3.1. ja 3.2 ei ole seetõttu märgitud kasutegurite tunnusjooni.

3.2 Esimese katse temperatuuri suhte meetodi arvutus

Esimeseks arvutuseks leiti kogu mõõtmisperioodi vältel mõõdetud temperatuuri parameetrid, mis iseloomustaksid kasutegurit sissepuhke õhu suhtes kõige paremini ehk parameetrid leiti ajavahemikus, kui Tehnikamajas eeldatavasti viibivad inimesed ning ventilatsiooniseade töötab. Temperatuuri parameetrid valiti kuupäeval 08.05.2014 kella 14:32-st kuni kella 18:32-ni. Õhuvoolu hulgad loeti antud katsel võrdseks. Temperatuurideks valiti ajavahemiku temperatuuride keskväärtused järgmiselt:

väljatõmmatava, sisse tõmmatava ja sissepuhutava õhu temperatuur vastavalt

$$\theta_{11} = 22,41 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\theta_{21} = 15,87 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\theta_{22} = 19,04 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Mõõdetud suurused asendati algsesse seosesse 1.1 vastavalt ning leiti kasutegur:

$$\eta_{\theta, su} = \frac{19,04 - 15,87}{22,41 - 15,87} \cdot \frac{1}{1} = 0,485.$$

Sissepuhke suhtes mõõdetud kasutegur temperatuuride kaudu saadi 0,485.

Teiseks arvutuseks leiti kasutegur temperatuuride väljapuhke temperatuuri suhtes. Selleks valiti väljapuhke õhu temperatuur järgmiselt:

$$\theta_{12} = 17,88 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Mõõdetud parameetrid asendati seosesse 1.2 vastavalt ning leiti kasutegur:

$$\eta_{\theta, ex} = \frac{22,41 - 17,88}{22,41 - 15,87} \cdot \frac{1}{1} = 0,693.$$

Väljapuhke suhtes mõõdetud kasutegur temperatuuride kaudu saadi 0,693.

3.3 Esimese katse õhu niiskussisalduse suhte meetodi arvutus

Teiseks arvutuseks leiti kogu mõõtmisperioodi vältel mõõdetud õhu niiskuse parameetrid, mis iseloomustaksid kasutegurit sissepuhke õhu suhtes kõige paremini ehk parameetrid

leiti ajavahemikus, kui Tehnikamajas eeldatavasti viibivad inimesed ning ventilatsiooniseade töötab. Niiskuse parameetrid valiti kuupäeval 08.05.2014 kella 14:32-st kuni kella 18:32-ni. Õhuvoolu hulgad loeti antud katsel võrdseks. Õhuparameetriteks valiti ajavahemiku õhu niiskuse keskväärtused järgmiselt:

väljatõmmatava, sisse tõmmatava, sissepuhutava õhu keskmine vastavalt

$$x_{11} = 34,69;$$

$$x_{21} = 54,43;$$

$$x_{22} = 45,60.$$

Mõõdetud parameetrid asendati seosesse 1.3 ning leiti kasutegur:

$$\eta_{x,su} = \frac{45,60 - 54,43}{34,69 - 54,43} \cdot \frac{1}{1} = 0,447$$

Sissepuhke suhtes mõõdetud kasutegur niiskussisalduse kaudu saadi 0,447.

Leiti ka õhu niiskussisalduse suhte meetodi kaudu kasuteguri leidmiseks väljapuhutava õhu niiskussisalduse suhtes. Selleks leiti väljapuhutava õhu niiskuse sisaldus:

$$x_{12} = 46,97.$$

Mõõdetud parameetrid asendati valemisse 1.4 ning leiti kasutegur:

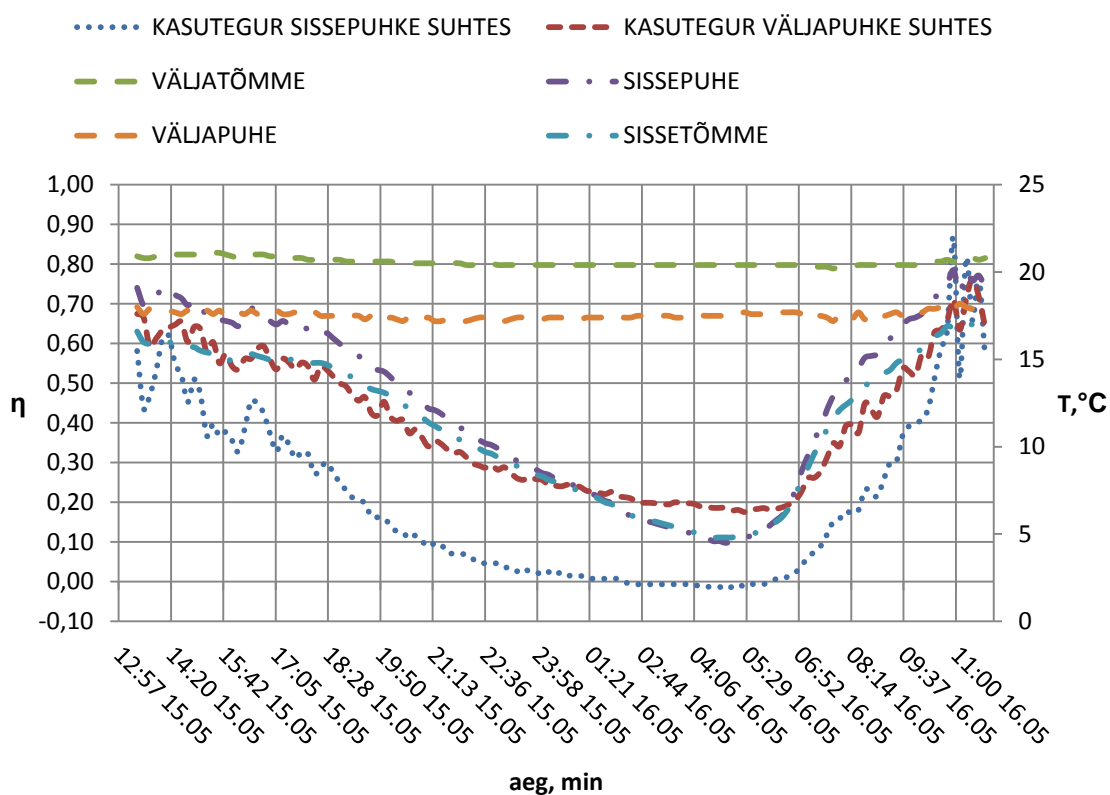
$$\eta_{x,ex} = \frac{34,69 - 46,97}{34,69 - 54,43} \cdot \frac{1}{1} = 0,622$$

Väljapuhke suhtes mõõdetud kasutegur niiskussisalduse kaudu saadi 0,622.

3.4 Teise mõõtmise katsetulemused

Ventilatsiooniseadme kasuteguri määramise jaoks jälgiti seekord sama ventilatsiooniseadme SWEGON GOLD 25 D RX tööd ning võeti üles sissepuhke-, sissetõmbe-, väljapuhke- ja väljatõmbe parameetrid nüüd ajavahemikus 15.05.2014 kuni 16.05.2014. Katsel mõõdeti iga kümne minuti tagant iga anduriga üks punkt, mis näitab vastaval ajahetkel niiskuse- ning temperatuuriparameetrid. Kokku võeti üles 132 punkti iga anduriga. Katseandmed on näidatud lisas C. Üles võeti temperatuuri ja niiskuse

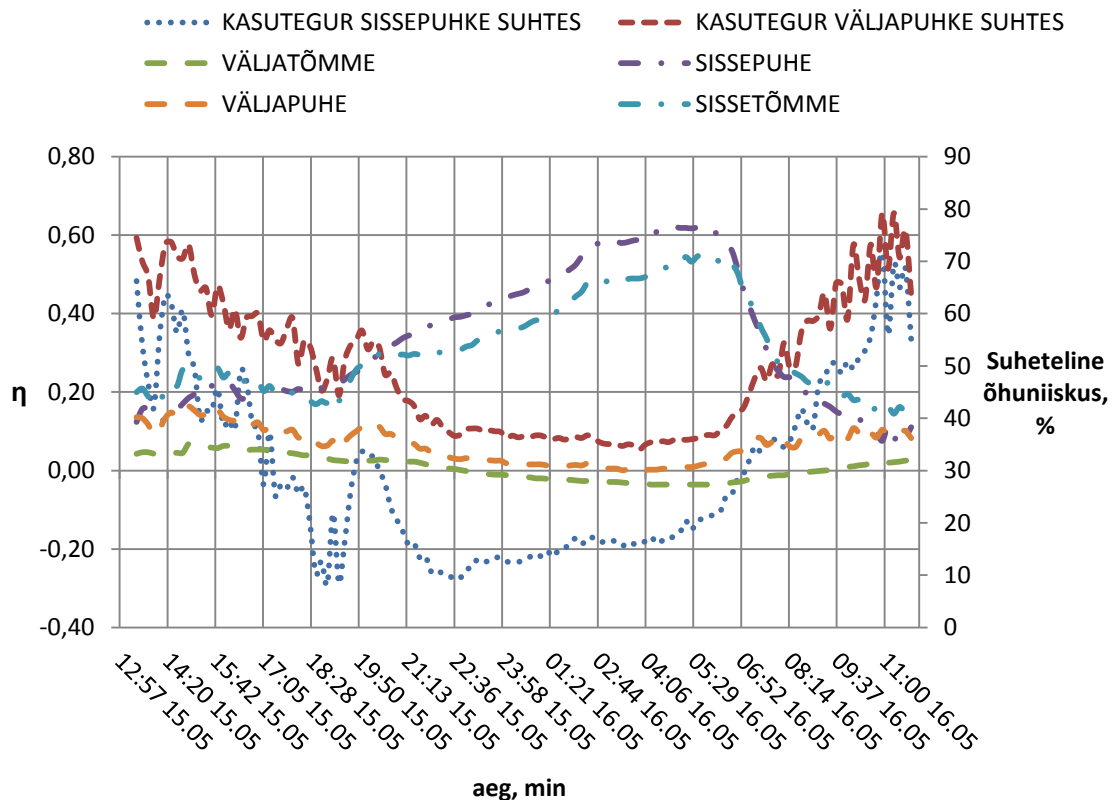
muutuse iseloomulikud tunnusjooned ning vastavate punktide kasutegurid, mis on näidatud vastavalt joonisel 3.3. ja joonisel 3.4.



Joonis 3.3. Temperatuuri ja kasutegurite muutuse graafik mõõteperioodil 15.05.2014 kuni 16.05.2014.

Jooniselt 3.3. on näha, et öötundidel on õhu välistemperatuur langenud ning hommikul uuesti tõusma hakanud. Kasuteguri langusest ning sissepuhke- ja sissetõmbetunnusjoone kokkulangevuga saab väita, et öösel on rootorsoojusvaheti paigal seisnud ning soojusvahetust on toimunud antud hetkel ainult mööda statsionaarseid pindu. Kasutegurite suuremat väärtust saab välja lugeda, kui rootorsoojustagasti on töös, mis on nähtav ajahetkedel kui sissepuhutava õhu tunnusjoon on suurema temperatuuri väärtusega kui sisse tõmmatava õhu temperatuur. Lisaks on näha jooniselt 3.3. kasutegurite suurt erinevust. Kasutegur, mis on leitud sissepuhke õhu temperatuuri suhtes on tunduvalt madalam, väljapuhke õhu suhtes leitud kasutegur. Sissepuhke suhtes leitud kasutegur langeb ligilähedale nulli juurde ning mõnes punktis ka veidi madalamale, mis on arvatavasti tingitud mõõte ebatäpsusest. Väljapuhke ning väljatõmbe temperatuuride tunnusjooned on kulgenud kogu katseseeria vältelt suhteliselt stabiilselt vastavalt 18 °C

ning 21 C juures. Väljapuhke õhu temperatuuri ja väljatõmbe õhu temperatuuri vahe on tekkinud õhu läbimisel soojusvahetit.



Joonis 3.4. Õhu niiskussisalduse ja kasutegurite parameetrite muutus graafik mõõteperioodil 15.05.2014 kuni 16.05.2014.

Joonisel 3.4. on analoogselt joonisele 3.3. loetav kasutegurite madal väärtus öötundidel. Joonise 3.3. õhu niiskuse muutuste tunnusjooned on võrreldes joonisega 3.4. loetav vastupidiselt, ehk õhu niiskussisalduse tõustes langeb õhu temperatuur. Väljapuhke suhtes leitud kasutegur on samuti tunduvalt kõrgema väärtusega kui sissepuhke suhtes leitud kasutegur nagu ka temperatuuri suhte meetodiga ja sissepuhke suhtes leitud kasuteguri arvutused on langenud ka enamuse katse jooksul negatiivsesse piirkonda.

3.5 Teise katse temperatuuri suhte meetodi arvutus

Esimeseks arvutuseks leiti kogu mõõtmisperioodi vältel mõõdetud temperatuuri parameetrid, mis iseloomustaksid kasutegurit sissepuhke õhu suhtes kõige paremini. Temperatuuri parameetrid valiti ajavahemikus 13:56 kuni 18:06 kuupäeval 15.05.2014 ehk kui inimesed on eeldatavasti Tehnikamajas ning ventilatsiooniseade on töös. Õhuvoolu

hulgad loeti antud katsel võrdseks. Temperatuurideks valiti ajavahemiku keskmised temperatuurid järgmiselt:

Väljatõmmatava, sisse tõmmatava, sissepuhutava õhu keskmine temperatuur vastavalt

$$\theta_{11} = 20,93 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\theta_{21} = 15,30 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\theta_{22} = 17,62 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Mõõdetud suurused asendati algsesse seosesse 1.1 vastavalt ning leiti kasutegur:

$$\eta_{\theta, su} = \frac{17,62 - 15,30}{20,93 - 15,30} \cdot \frac{1}{1} = 0,412.$$

Sissepuhke suhtes mõõdetud kasutegur temperatuuride kaudu kogu mõõteseeria vältel saadi 0,412.

Teiseks arvutuseks leiti kasutegur temperatuuride kaudu kogu väljapuhke temperatuuri suhtes. Selleks leiti lisaks keskväärtus väljapuhke õhu temperatuurile:

$$\theta_{12} = 17,67 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Mõõdetud parameetrid asendati seosesse 1.2 vastavalt ning leiti kasutegur:

$$\eta_{\theta, ex} = \frac{20,93 - 17,67}{20,93 - 15,30} \cdot \frac{1}{1} = 0,579.$$

Väljapuhke suhtes mõõdetud kasutegur temperatuuride kaudu saadi 0,579.

3.6 Teise katse õhu niiskussisalduse suhte meetodi arvutus

Teiseks arvutuseks leiti kogu mõõtmisperioodi vältel mõõdetud õhuniiskuse parameetrid, mis iseloomustaksid kasutegurit sissepuhke parameetrite suhtes kõige paremini. Õhu niiskussisalduse parameetrid valiti ajavahemikus 13:56 kuni 18:06 kuupäeval 15.05.2014 ehk kui inimesed on Tehnikamajas ning ventilatsiooniseade on eeldatavalt töös. Õhuvoolu hulgad loeti antud katsel võrdseks. Niiskuse parameetriteks valiti ajavahemiku niiskussisalduse keskväärtused järgmiselt:

väljatõmmatava, sisse tõmmatava, sissepuhutava õhu keskmine niiskuse sisaldus kogu mõõteperioodi vältel

$$x_{11} = 33,91;$$

$$x_{21} = 46,48;$$

$$x_{22} = 44,35.$$

Mõõdetud parameetrid asendati seosesse 1.3 ning leiti kasutegur:

$$\eta_{x,su} = \frac{44,35 - 46,48}{33,91 - 46,48} \cdot \frac{1}{1} = 0,169$$

Sissepuhke suhtes mõõdetud kasutegur niiskussisalduse kaudu kogu mõõteseeria vältel saadi 0,169.

Leiti ka õhu niiskusesisalduse suhte meetodi kaudu kasuteguri leidmiseks väljapuhutava õhu niiskussisalduse suhtes. Selleks leiti väljapuhutava õhu keskväärts järgmiselt:

$$x_{12} = 39,31.$$

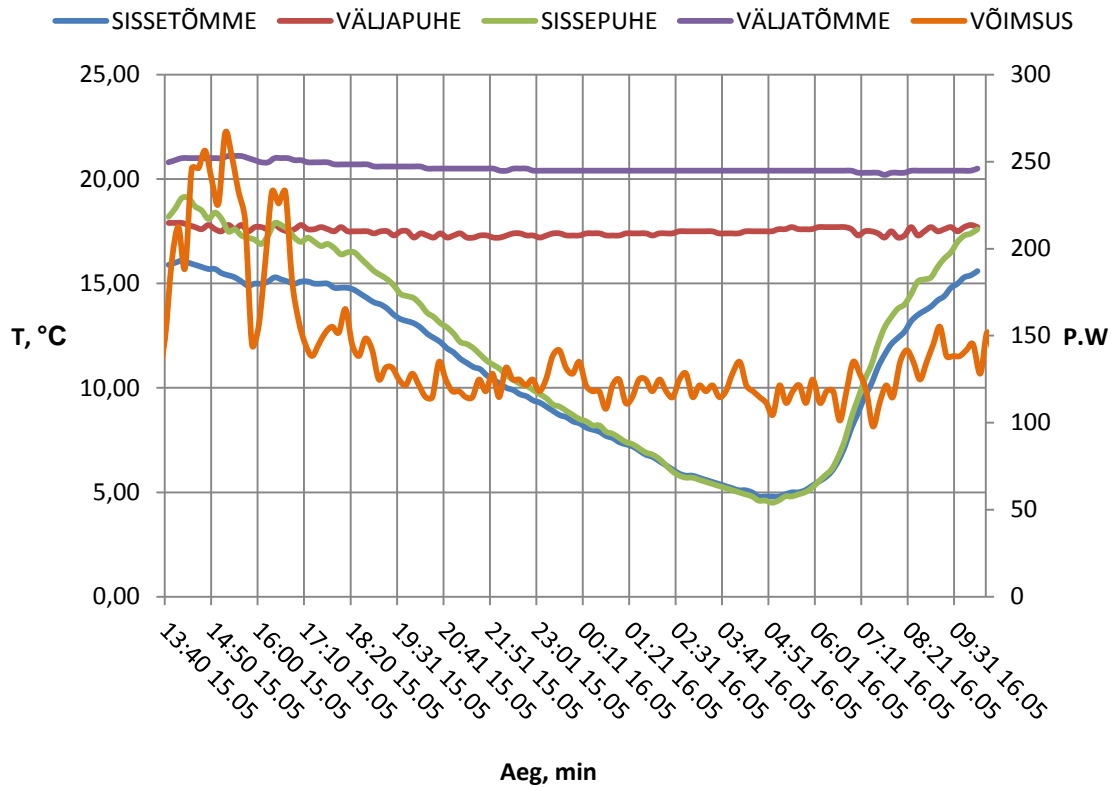
Mõõdetud parameetrid asendati valemisse 1.4 ning leiti kasutegur:

$$\eta_{x,ex} = \frac{33,91 - 39,31}{33,91 - 46,48} \cdot \frac{1}{1} = 0,430$$

Väljapuhke suhtes mõõdetud kasutegur niiskussisalduse kaudu saadi 0,430.

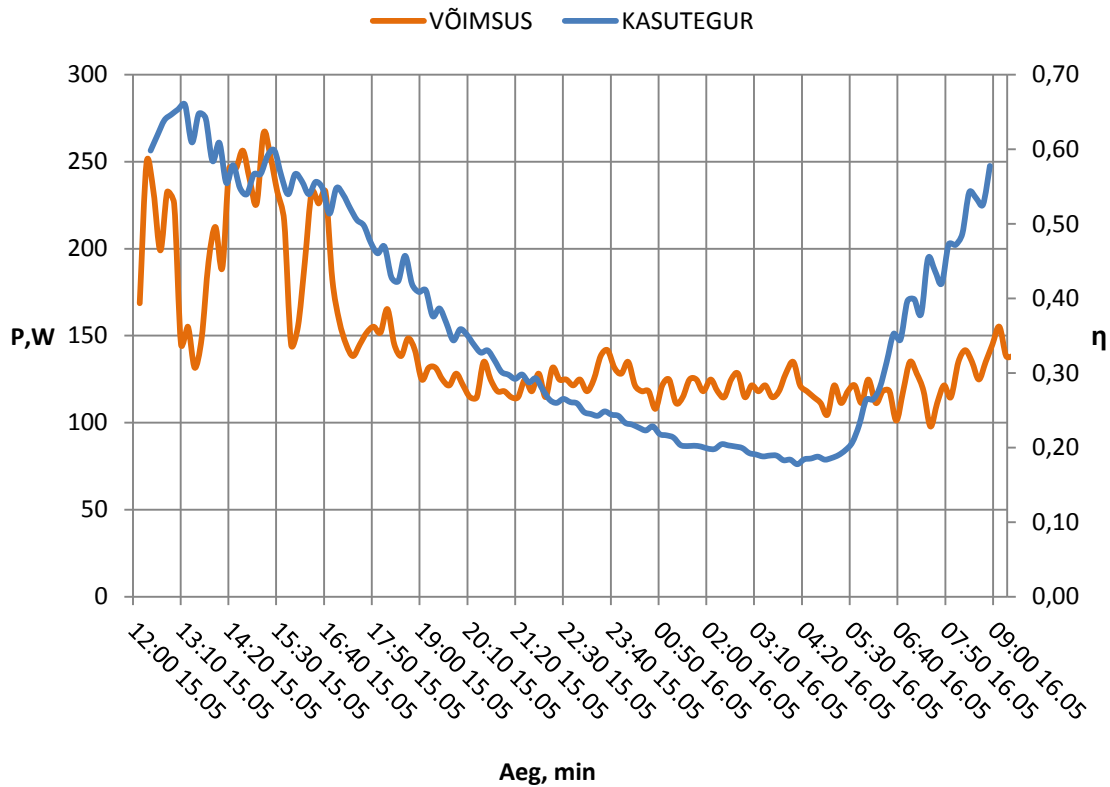
3.7 PHI elektrikulu metoodika

Teises katseseerias mõõdeti lisaks õhu temperatuuride ning niiskuste parameetrite suurustele ka ventilaatori elektritarvet katseseeria vältel. Ventilaatori elektritarbe näitajad katseseeria vältel on näidatud lisas C. Kasuteguri leidmine elektrikulu metoodika arvestab endas temperatuuri parameetreid, mistõttu on näidatud joonisel 3.5. elektrivõimuse ja temperatuuride muutus ajas.



Joonis 3.5. Temperatuuri ja võimsuse muutuse graafik mõõteperioodil 15.05.2014 kuni 16.05.2014.

Jooniselt 3.5. on võimalik välja lugeda, et öötundidel, kui inimesi eeldatavalt hoones ei viibi, vähendatakse ventilatsiooni tööd ning rootorsoojusvaheti töö peatatakse, mida on näha sissepuhke- ning sissetõmbetunnusjoone kokkulangemisest. Mõõteseria alguses ning lõpus on näha nende kahe tunnusjoone eraldumist üksteisest, mis on märk soojusvaheti pöörlemisest ehk soojusvahet on nendel ajahetkedel tööolukorras. Väljapuhutava õhu temperatuur on madalam kui väljatõmmatav õhk kuna õhk on läbinud soojusvahetit ning osa õhu soojusenergiast on jäänud soojusvahetisse.



Joonis 3.6. PHI elektrikulu kasuteguri sõltuvus võrreldes ventilaatori võimsusega.

Joonis 3.6. illustreerib olukorda, kus ventilaatori võimsuse vähenedes langeb ka kasutegur ning vastupidi. Kasutegur on tunduvalt kõrgem päeval ajal, kui ventilatsiooniseade on töös. Soojusvaheti välja lülitamisega ning ventilaatori töö vähendamiseks alaneb ka ventilatsiooniseadme kasutegur.

3.8 PHI elektrikulu katse arvutused

PHI elektrikulu kasutegur leidmise meetodika sarnaneb oma olemuselt temperatuuri suhte arvutus meetodikaga, mis leitakse väljapuhutava õhu temperatuuride suhtes. Seega arvestati elektrikulu arvutuses samade parameetritega, mida kasutati temperatuuri suhte meetodikaga leitud kasuteguri arvutuses. PHI meetodikas aga arvestatakse lugejasse juurde ventilaatori elektritarve. Ventilaatori elektritarbe arvutuse jaoks on tarvis teada ka õhuhulka, mis läbib ventilaatorit. Õhuhulgad on mõõdetud ventilatsiooniseadme siseste anduritega ning näidatud lisas D. Õhuhulgad võeti arvesse eraldi ning arvutuseks valiti keskmiseltväärtuselt suurem parameeter. Lisaks leiti keskmine ventilaatori võimsuse keskmine väärtus, mis läbis ventilaatorit ajavahemikul 13:56 kuni 18:06 kuupäeval 15.05.2014. Arvutuseks vajalikud parameetrid valiti järgmiselt:

keskmise ventilaatori elektritarbimine ning õhuhulkade väärtus vastavalt

$$P_{el} = 199,8 \text{ W};$$

$$m = 4133,7 \text{ kg/h.}$$

Mõõdetud parameetrid asendatid valemisse 1.5 ning arvutati kasutegur kogu mõõteperioodi vältel:

$$\eta_p = \frac{(20,93 - 17,62) + \frac{199,8}{4133,7 \cdot 1}}{20,93 - 15,30} = 0,597$$

Kasutegur elektrikulu arvestades saadi 0,597.

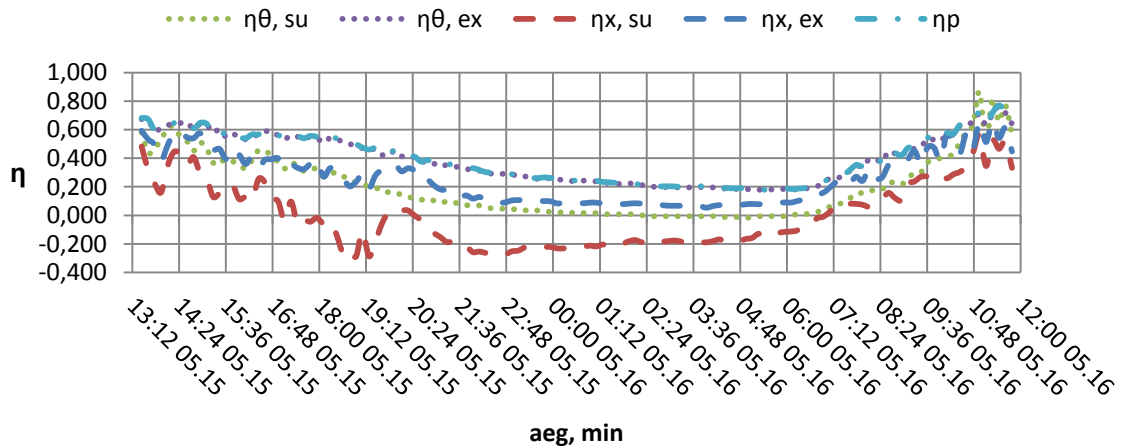
3.9 Arutelu

Hinnangu andmiseks esitati arvutatud kasutegurite suurused tabelisse 3.1.

Tabel 3.1. Kasutegurite katsetulemused

Katse	Temperatuuri	Niiskuse	PHI
1 katse sissepuhke suhtes	0,485	0,447	-
1 katse väljapuhke suhtes	0,693	0,622	-
2 katse sissepuhke suhtes	0,412	0,169	-
2 katse väljapuhke suhtes	0,579	0,430.	0,597

Tabeli 3.1. andmete järgi ning kasutegurite tunnusjoonte järgi, mis on esitatud joonisel 3.7., ilmneb fakt, et väljapuhke parameetrite suhtes leitud kasutegurid on suuremad, kui sissepuhke suhtes leitud kasutegurid. Põhjus seisneb selles, et väljapuhke parameetrite suhtes leitud kasutegur arvestab õhu teekonda ruumist tagasi õue läbi soojusvaheti, kus salvestatakse soojus, millega suurendatakse õuest sissetuleva õhu temperatuuri. Soojustagasti soojuskadude tõttu väheneb aga protsessi käigus mõnevõrra soojuslik energia ning seetõttu sisse tõmmatava õhu soojendamiseks ei saa kogu soojusenergiat ära kasutada, mis omistati väljatõmmatud õhust.

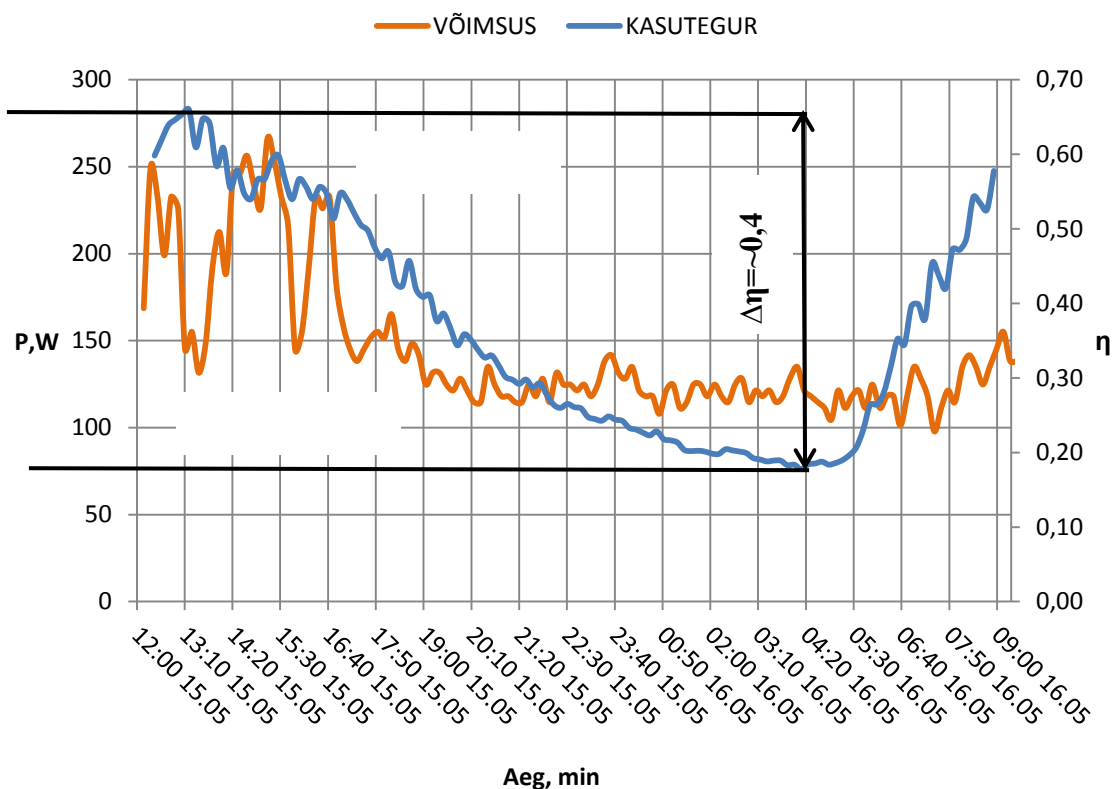


Joonis 3.7. Teise katse kasutegurite tunnusjooned.

Võrreldes kasutegurite leidmist temperatuuri ja niiskuse meetodikatega, on nii joonistelt 3.7. kui ka tabelist 3.1. näha, et efektiivsuse hindamine temperatuuri järgi annab stabiilsemad tulemused. Põhjus peitub suhtelise õhuniiskuse ebastabiilsuses, mis väljendub õhuniiskuse parameetrite kiiremas muutuses ajaühikus. Suhteline õhuniiskus on suuresti sõltuvuses ilmastikuoludest ehk välisõhu suhtelisest niiskusest, mis põhjustavadki niiskuse sisalduse kõikumise. Näiteks sademete järsul ilmnemises muutub õhu niiskuse sisaldus hüppeliselt, kui temperatuuri muutus õhus on aeglasem.

PHI elektrikulu kasutegurit võrreldes temperatuuride suhte meetoodika kasuteguriga, mis on leitud väljapuhke õhu temperatuuri suhtes, selgub, et elektrikulu arvestades on samadel temperatuuriparameetritel kasutegur alati kõrgem. Erinevus ei ole aga silmaga eristavav tunnusjoonte kaudu nagu on näidatud lisas E joonisel E.1. Mõõteseria käigus ilmnes, et ventilatsiooniseadmes kasutatav ventilaator on väga hea erivõimsusega. Kui aga asendada PHI elektrikulu kasuteguri arvutusvalemisse samade temperatuuri parameetrite juures ventilatsiooniseadmesse kehvema erivõimsusega ventilaator siis kasvab kasutegur ikkagi. Valemit 1.5 aga nii hinnata ei saa, kuna ventilaatori töö koormuse vähendamine tähendab seda, et välisõhu temperatuuri parameeter on kõrgem ehk ventilaatori elektritarve muutub vastavalt temperatuuride muutsutele.

Mõõdistuste tulemusena leiti SWEGON GOLD 25 D RX tippkasuteguriks 0,85, mis vastab andmelehel esitatud kasutegurile. Üldjuhul jäid kasutegurite tunnusjooned allapoole kui kasutegur 0,85. Ventilatsiooniseadme kasutegurite väärtused olenesid suuresti ventilatsiooniseadme töörežiimidest, mille tõttu oli raske hinnata normaalset tööolukorda. Tööolukordade kasutegurite erinevused on kirjeldatud joonisega 3.8.



Joonis 3.8. PHI elektrikulu kasutegurite erinevus töörežiimidel.

Kasutegurite väärtused olid keskelt läbi umbes 0,4 võrra suuremad täistöörežiimis päeval, võrreldes ööga, mil ventilatsiooniseade töötas vähendatud võimsusega. Joonisel 3.8 on näitena toodud PHI elektrikulu kasuteguri sõltuvus töörežiimidest, teisete viisidega leitud kasutegurid toimivad analoogselt. Joonise 3.6. alusel selgub, et suuremat kasutegurit saadakse, kui ventilaator töötab võimsusega umbes 200 W. Kuna ventilatsiooniseade on suuteline arendama kõrgemat kasutegurit on seadmel ka tarvis suuremat võimsust, ehk nominaal võimsus on suurem kui 200 W antud ventilaatoril.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli leida erinevaid viise kuidas hinnata soojustagastusega ventilatsiooniseadme efektiivsuse hindamist. Efektiivsuse hindamiseks kasutati kasuteguri mõistet. Bakalaureusetöös esitati kolm viisi ventilatsiooniseadme kasuteguri leidmiseks-temperatuuri-, niiskus- ja elektrikulu meetodikaid. Temperatuuri ning niiskuse meetodikad jagunesid veel omakorda kaheks- sissepuhke ja väljapuhke suhtes leitavaks. Standardi EVS-EN 13141-7:2010 järgi loetakse sissepuhke suhtes leitud kasutegurit kohustuslikuks ventilatsiooniseadme puhul ning väljapuhke suhtes leitud kasutegurit valikuliseks.

Uurimustöö esimeses osas kirjeldati juba nimetatud meetodikaid. Töö teises osa näidati katseseadmeid ja skeeme millega teostati mõõtmised. Kolmandas osas näidati, kuidas mõõdetud tulemusi analüüsida ning hinnati töödeldud tulemusi.

Mõõtmistest järeldati, et väljapuhke suhtes leitud kasutegurid on suuremad, kui sissepuhke suhtes, mis on märk soojusvaheti soojuskaotusest. Teiseks järeldati, et kasuteguri leidmine õhu temperatuuride kaudu annab stabiilsemad tulemused kui kasuteguri leidmine õhu niiskussisalduste suhete kaudu. Kolmandaks järeldati, et kasuteguri leidmine arvestades elektrikulu on alati veidi suurem kui analoogselt leitud kasutegur temperatuuri suhte meetodikaga väljapuhke õhu temperatuuri suhtes. Lisaks näidati, kui palju erineb kasutegur ventilatsiooniseadme erinevatel töörežiimidel.

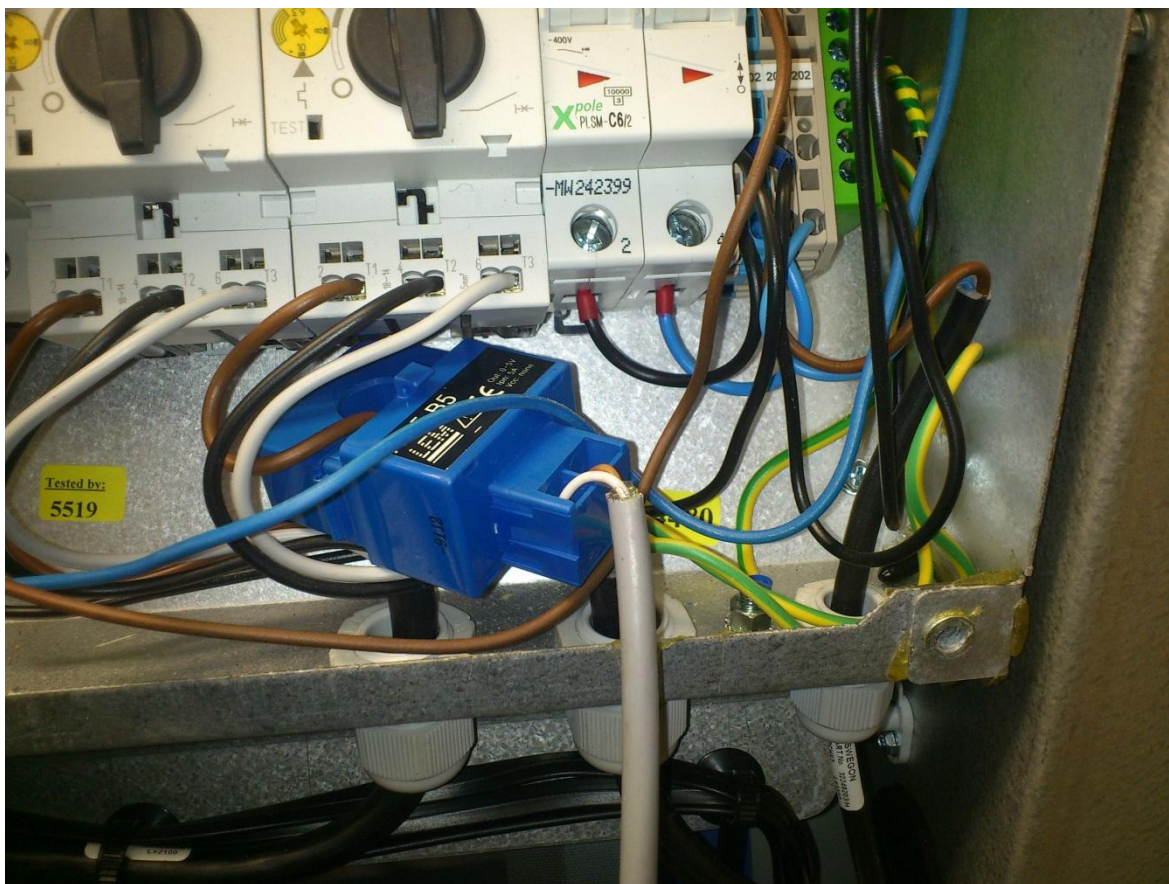
Käesolev bakalaureusetöö koostati eesmärgiga näidata lugejale kuidas hinnatakse ventilatsioonisüsteemi efektiivsust ning olla kasutatav juhendina ventilatsiooniseade efektiivsuse hindamisel.

KIRJANDUS

1. Tõnu Mauring. Passiivmajatehnoloogia. Kvaliteedi tagamine kõrge energiatõhususega. 2009. Tallinna Linnavaaramet. Kättesaadav: http://www.arhitektuurikeskus.ee/wp-content/uploads/2011/05/REBECEE_passiivmajatehnoloogia-1.pdf (23.05.2014).
2. Teet Tark. Ventsüsteemide kasutegurid. Kättesaadav: <http://www.kvj.ee/ventsysteemidde-kasuteguri> (23.05.2014).
3. Requirements and testing procedures for energetic and acoustical assessment of Passive House ventilation systems for Certification as „Passive House suitable component“. Passivhaus Institut. 2009. Kättesaadav: http://www.passiv.de/downloads/03_Reqs_and_testing_procedures_ventilation_en.pdf (23.05.2014).
4. Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika. 2012. Majandus- ja kommunikatsiooniminister. Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/118102012001> (23.05.2014)
5. Teet Tark. SFP- oluline näitaja ventilatsioonisüsteemide kavandamisel ja hindamisel. Kättesaadav: <http://www.hevac.ee/systematic/files.php?id=7> (23.05.2014)
6. Velleman DVM171THD. Velleman. Kättesaadav: <http://www.velleman.eu/products/view/?country=fr&lang=en&id=376086> (23.05.2014).
7. AC Current transducer AT-B5. 2009. LEM. Kättesaadav: http://www.lem.com/docs/products/at_b5_e.pdf (23.05.2014).
8. Gold ventilatsioonisüsteem ülevaade. 2008. Merx AS. Kättesaadav: <http://www.merx.ee/failid/File/Tooted/Swegon/EST-GOLD%202008%20tootekataloog.pdf> (23.05.2014).

LISAD

Lisa A Elektrikulu arvesti LEM AT 5 B5 ühendamine ventilatsiooniseadmega.



Joonis A.1 Elektrikulu arvesti LEM AT 5 B5 ühendamine ventilatsiooniseadmega

Lisa B Esimese katse mõõtmiste tulemused ja kasutegurid.

Tabel B.1. Ventilatsiooniseadme SWEGON GOLD 25 D RX sissepuhke-, sissetõmbe-, väljapuhke- ja väljatõmbe parameetrid ning vastavad kasutegurid ajavahemikus 08.05.2014 kuni 10.05.2014.

Kuupäev	Aeg	θ_{11} , °C	x_{11} , %	θ_{12} , °C	x_{12} , %	θ_{21} , °C	x_{21} , %	θ_{22} , °C	x_{22} , %	$\eta_{\theta, su}$	$\eta_{\theta, ex}$	$\eta_{x, su}$	$\eta_{x, ex}$
08.05.2014	14:31:52	22,3	35,5	17,9	47,4	15,2	56,7	17,7	48,9	0,352	0,620	0,368	0,561
08.05.2014	15:01:52	22,3	35,5	17,9	47,4	15,6	56,0	18,3	47,3	0,403	0,657	0,424	0,580
08.05.2014	15:31:52	22,3	35,2	17,8	47,4	15,6	55,8	18,4	46,9	0,418	0,672	0,432	0,592
08.05.2014	16:01:52	22,3	34,5	17,9	46,7	15,7	54,6	18,5	46,3	0,424	0,667	0,413	0,607
08.05.2014	16:31:52	22,4	34,3	17,7	47,0	15,9	53,8	19,4	45,4	0,538	0,723	0,431	0,651
08.05.2014	17:01:52	22,4	34,4	17,8	47,0	16,0	53,6	19,5	44,9	0,547	0,719	0,453	0,656
08.05.2014	17:31:52	22,5	34,1	18,0	46,1	16,3	52,8	19,8	43,7	0,565	0,726	0,487	0,642
08.05.2014	18:01:52	22,6	34,3	18,0	46,7	16,3	53,1	19,9	43,5	0,571	0,730	0,511	0,660
08.05.2014	18:31:52	22,6	34,4	17,9	47,0	16,2	53,5	19,9	43,5	0,578	0,734	0,524	0,660
08.05.2014	19:01:52	22,3	35,3	18,0	47,5	15,9	54,9	18,8	45,4	0,453	0,672	0,485	0,622
08.05.2014	19:31:52	22,2	35,5	17,9	47,9	15,7	55,9	18,4	46,3	0,415	0,662	0,471	0,608
08.05.2014	20:01:52	22,2	36,0	17,7	48,9	15,1	58,7	17,7	49,7	0,366	0,634	0,396	0,568
08.05.2014	20:31:52	22,1	36,1	17,6	49,1	14,5	60,9	16,7	52,1	0,289	0,592	0,355	0,524
08.05.2014	21:01:52	22,1	36,2	17,4	49,8	13,9	63,4	16,1	54,1	0,268	0,573	0,342	0,500
08.05.2014	21:31:52	22,1	36,1	17,4	49,6	13,5	64,7	15,6	55,6	0,244	0,547	0,318	0,472
08.05.2014	22:01:52	22,0	36,0	17,4	49,5	13,1	66,0	15,2	57,0	0,236	0,517	0,300	0,450
08.05.2014	22:31:52	22,0	36,0	17,4	49,3	12,8	67,3	14,7	58,7	0,207	0,500	0,275	0,425

Tabel B.1. järg

Kuupäev	Aeg	$\theta_{11}, ^\circ\text{C}$	$x_{11}, \%$	$\theta_{12}, ^\circ\text{C}$	$x_{12}, \%$	$\theta_{21}, ^\circ\text{C}$	$x_{21}, \%$	$\theta_{22}, ^\circ\text{C}$	$x_{22}, \%$	$\eta_{\theta, \text{su}}$	$\eta_{\theta, \text{ex}}$	$\eta_{x, \text{su}}$	$\eta_{x, \text{ex}}$
08.05.2014	23:01:52	22,0	36,0	17,4	49,3	12,5	68,4	14,3	59,9	0,189	0,484	0,262	0,410
08.05.2014	23:31:52	21,9	35,8	17,4	48,9	12,4	68,4	14,3	59,8	0,200	0,474	0,264	0,402
09.05.2014	00:01:52	21,9	35,7	17,4	48,7	12,2	68,9	14,0	60,6	0,186	0,464	0,250	0,392
09.05.2014	00:31:52	21,9	36,0	17,4	49,1	11,8	71,9	13,5	62,9	0,168	0,446	0,251	0,365
09.05.2014	01:01:52	21,9	36,0	17,4	48,9	11,6	72,6	13,3	63,5	0,165	0,437	0,249	0,352
09.05.2014	01:31:52	21,8	35,5	17,5	47,9	11,2	73,8	12,8	65,8	0,151	0,406	0,209	0,324
09.05.2014	02:01:52	21,8	36,5	17,4	49,1	10,8	77,4	12,3	68,2	0,136	0,400	0,225	0,308
09.05.2014	02:31:52	21,8	38,0	17,4	51,0	10,9	80,1	12,4	69,2	0,138	0,404	0,259	0,309
09.05.2014	03:01:52	21,8	38,2	17,3	51,6	10,9	81,5	12,4	71,2	0,138	0,413	0,238	0,309
09.05.2014	03:31:52	21,7	38,5	17,3	51,6	10,8	82,4	12,3	72,5	0,138	0,404	0,226	0,298
09.05.2014	04:01:52	21,7	39,1	17,2	52,6	10,8	83,6	12,3	73,0	0,138	0,413	0,238	0,303
09.05.2014	04:31:52	21,7	39,5	17,3	53,0	10,9	84,0	12,4	73,2	0,139	0,407	0,243	0,303
09.05.2014	05:01:52	21,8	39,9	17,3	53,6	11,0	84,3	12,6	73,2	0,148	0,417	0,250	0,309
09.05.2014	05:31:52	21,7	40,0	17,3	53,8	11,1	84,2	12,7	73,1	0,151	0,415	0,251	0,312
09.05.2014	06:01:52	21,7	39,9	17,3	53,9	11,2	84,0	12,7	73,1	0,143	0,419	0,247	0,317
09.05.2014	06:31:52	21,7	40,3	17,3	54,3	11,2	84,2	12,8	73,0	0,152	0,419	0,255	0,319
09.05.2014	07:01:52	21,7	40,5	17,3	54,6	11,4	84,1	13,0	72,7	0,155	0,427	0,261	0,323
09.05.2014	07:31:52	21,8	41,1	17,3	55,5	11,6	84,2	13,3	71,9	0,167	0,441	0,285	0,334
09.05.2014	08:01:52	21,8	41,6	17,5	56,0	12,0	84,1	13,5	71,4	0,153	0,439	0,299	0,339
09.05.2014	08:31:52	21,9	43,1	17,6	58,3	12,7	83,4	14,4	68,2	0,185	0,467	0,377	0,377
09.05.2014	09:01:52	22,0	41,6	17,6	56,6	13,5	77,9	16,0	60,1	0,294	0,518	0,490	0,413
09.05.2014	09:31:52	21,9	40,3	17,7	54,4	14,1	71,7	16,9	55,6	0,359	0,538	0,513	0,449

Tabel B.1. järg

Kuupäev	Aeg	$\theta_{11}, ^\circ\text{C}$	$x_{11}, \%$	$\theta_{12}, ^\circ\text{C}$	$x_{12}, \%$	$\theta_{21}, ^\circ\text{C}$	$x_{21}, \%$	$\theta_{22}, ^\circ\text{C}$	$x_{22}, \%$	$\eta_{\theta, \text{su}}$	$\eta_{\theta, \text{ex}}$	$\eta_{x, \text{su}}$	$\eta_{x, \text{ex}}$
09.05.2014	10:01:52	22,0	40,2	17,8	54,0	14,8	68,1	17,7	52,7	0,403	0,583	0,552	0,495
09.05.2014	10:31:52	22,0	40,3	18,2	53,1	15,7	63,7	18,9	48,9	0,508	0,603	0,632	0,547
09.05.2014	11:01:52	17,9	50,2	17,9	52,9	17,2	58,0	22,0	41,4	6,857	0,000	2,128	0,346
09.05.2014	11:31:52	18,1	50,1	18,2	52,3	17,9	55,3	22,4	40,4	22,500	-0,500	2,865	0,423
09.05.2014	12:01:52	17,9	48,6	17,7	51,6	17,3	55,7	21,7	41,6	7,333	0,333	1,986	0,423
09.05.2014	12:31:52	19,5	42,6	18,5	47,9	17,7	52,5	21,2	42,1	1,944	0,556	1,051	0,535
09.05.2014	13:01:52	18,7	45,5	18,5	48,1	18,1	51,4	22,0	39,8	6,500	0,333	1,966	0,441
09.05.2014	13:31:52	18,4	43,8	18,6	45,4	18,3	48,0	22,6	38,1	43,000	-2,000	2,357	0,381
09.05.2014	14:01:52	18,4	44,6	18,5	46,7	18,2	49,4	22,6	37,9	22,000	-0,500	2,396	0,438
09.05.2014	14:31:52	18,7	43,9	18,7	45,7	18,6	48,5	22,6	37,5	40,000	0,000	2,391	0,391
09.05.2014	15:01:52	18,2	46,0	18,3	47,6	18,2	50,0	22,7	37,7	-	-	3,075	0,400
09.05.2014	15:31:52	18,4	43,9	18,4	45,8	18,2	48,2	23,0	36,8	24,000	0,000	2,651	0,442
09.05.2014	16:01:52	20,7	39,3	18,2	46,8	17,8	49,5	22,2	37,7	1,517	0,862	1,157	0,735
09.05.2014	16:31:52	18,4	49,1	18,0	52,3	17,5	55,9	22,2	38,8	5,222	0,444	2,515	0,471
09.05.2014	17:01:52	21,7	38,8	18,4	49,2	17,3	54,6	20,8	42,2	0,795	0,750	0,785	0,658
09.05.2014	17:31:52	21,4	40,3	18,0	50,9	16,8	56,5	20,8	42,5	0,870	0,739	0,864	0,654
09.05.2014	18:01:52	22,2	39,7	17,9	53,1	16,3	60,2	19,6	45,8	0,559	0,729	0,702	0,654
09.05.2014	18:31:52	22,1	41,7	17,7	56,6	15,3	66,6	18,4	49,9	0,456	0,647	0,671	0,598
09.05.2014	19:01:52	22,0	42,8	17,6	58,2	14,2	73,6	16,4	59,0	0,282	0,564	0,474	0,500
09.05.2014	19:31:52	22,0	43,6	17,5	59,0	13,6	78,3	15,5	64,1	0,226	0,536	0,409	0,444
09.05.2014	20:01:52	22,0	44,1	17,6	59,2	13,2	81,3	14,9	68,1	0,193	0,500	0,355	0,406
09.05.2014	20:31:52	21,9	44,4	17,6	59,3	13,0	82,9	14,7	69,9	0,191	0,483	0,338	0,387
09.05.2014	21:01:52	21,9	44,1	17,6	59,0	12,8	83,6	14,5	72,0	0,187	0,473	0,294	0,377

Tabel B.1. järg

Kuupäev	Aeg	$\theta_{11}, ^\circ\text{C}$	$x_{11}, \%$	$\theta_{12}, ^\circ\text{C}$	$x_{12}, \%$	$\theta_{21}, ^\circ\text{C}$	$x_{21}, \%$	$\theta_{22}, ^\circ\text{C}$	$x_{22}, \%$	$\eta_{\theta, \text{su}}$	$\eta_{\theta, \text{ex}}$	$\eta_{x, \text{su}}$	$\eta_{x, \text{ex}}$
09.05.2014	21:31:52	21,9	44,2	17,6	59,2	12,8	84,1	14,4	72,5	0,176	0,473	0,291	0,376
09.05.2014	22:01:52	21,9	44,4	17,6	59,5	12,9	83,9	14,6	71,9	0,189	0,478	0,304	0,382
09.05.2014	22:31:52	21,9	44,7	17,6	59,7	12,9	84,1	14,6	72,1	0,189	0,478	0,305	0,381
09.05.2014	23:01:52	21,9	44,9	17,6	60,0	12,9	85,6	14,6	72,6	0,189	0,478	0,319	0,371
09.05.2014	23:31:52	21,9	45,0	17,6	60,3	13,2	84,0	14,9	71,2	0,195	0,494	0,328	0,392
10.05.2014	00:01:52	21,8	44,6	17,6	59,8	13,3	82,8	15,0	69,9	0,200	0,494	0,338	0,398
10.05.2014	00:31:52	21,9	44,2	17,6	59,3	13,0	83,2	14,7	72,1	0,191	0,483	0,285	0,387
10.05.2014	01:01:52	21,8	43,6	17,5	58,6	12,7	83,7	14,3	73,3	0,176	0,473	0,259	0,374
10.05.2014	01:31:52	21,8	42,7	17,5	56,9	12,2	83,9	13,8	75,6	0,167	0,448	0,201	0,345
10.05.2014	02:01:52	21,7	41,4	17,5	55,2	11,8	83,5	13,4	76,2	0,162	0,424	0,173	0,328
10.05.2014	02:31:52	21,7	42,3	17,5	56,4	12,0	84,3	13,5	75,6	0,155	0,433	0,207	0,336
10.05.2014	03:01:52	21,7	42,4	17,4	56,8	12,0	85,5	13,6	74,6	0,165	0,443	0,253	0,334
10.05.2014	03:31:52	21,7	42,2	17,4	56,6	12,0	85,5	13,6	74,4	0,165	0,443	0,256	0,333
10.05.2014	04:01:52	21,7	42,3	17,3	56,9	12,1	83,9	13,8	73,4	0,177	0,458	0,252	0,351
10.05.2014	04:31:52	21,7	42,7	17,3	57,4	12,1	84,4	13,7	74,0	0,167	0,458	0,249	0,353
10.05.2014	05:01:52	21,7	43,4	17,4	58,2	12,1	86,4	13,8	74,5	0,177	0,448	0,277	0,344
10.05.2014	05:31:52	21,7	42,7	17,3	57,2	12,1	85,9	13,7	75,7	0,167	0,458	0,236	0,336
10.05.2014	06:01:52	21,7	42,8	17,3	57,5	11,8	87,1	13,4	77,0	0,162	0,444	0,228	0,332
10.05.2014	06:31:52	21,7	43,0	17,3	57,5	11,8	87,6	13,4	77,1	0,162	0,444	0,235	0,325
10.05.2014	07:01:52	21,7	43,5	17,3	58,1	11,8	88,1	13,5	77,3	0,172	0,444	0,242	0,327
10.05.2014	07:31:52	21,7	45,0	17,3	60,2	12,2	88,8	13,9	76,6	0,179	0,463	0,279	0,347
10.05.2014	08:01:52	21,8	48,2	17,5	64,1	13,1	91,4	14,8	74,2	0,195	0,494	0,398	0,368
10.05.2014	08:31:52	21,8	49,3	17,9	64,9	14,1	88,9	16,0	68,6	0,247	0,506	0,513	0,394

Tabel B.1. järg

Kuupäev	Aeg	$\theta_{11}, ^\circ\text{C}$	$x_{11}, \%$	$\theta_{12}, ^\circ\text{C}$	$x_{12}, \%$	$\theta_{21}, ^\circ\text{C}$	$x_{21}, \%$	$\theta_{22}, ^\circ\text{C}$	$x_{22}, \%$	$\eta_{\theta, \text{su}}$	$\eta_{\theta, \text{ex}}$	$\eta_{x, \text{su}}$	$\eta_{x, \text{ex}}$
10.05.2014	09:01:52	21,8	48,1	17,7	63,8	14,7	82,4	16,8	65,2	0,296	0,577	0,501	0,458
10.05.2014	09:31:52	21,8	48,3	17,8	63,7	15,3	79,9	17,8	61,8	0,385	0,615	0,573	0,487
10.05.2014	10:01:52	21,4	48,0	18,1	60,9	16,4	72,7	19,4	55,9	0,600	0,660	0,680	0,522
10.05.2014	10:31:52	18,5	55,9	18,3	59,8	17,5	66,4	21,3	49,9	3,800	0,200	1,571	0,371
10.05.2014	11:01:52	18,3	55,6	18,5	57,7	18,3	62,8	22,4	46,3	-	-	2,292	0,292
10.05.2014	11:31:52	17,8	59,0	18,0	60,7	18,0	64,3	22,5	46,0	-22,500	1,000	3,453	0,321
10.05.2014	12:01:52	18,4	56,9	18,4	59,4	18,0	64,2	22,1	47,0	10,250	0,000	2,356	0,342
10.05.2014	12:31:52	18,1	58,2	18,2	60,2	18,1	63,9	22,5	45,9	-	-	3,158	0,351
10.05.2014	13:01:52	18,0	57,9	18,2	59,5	18,1	62,9	22,5	45,8	-44,000	2,000	3,420	0,320
10.05.2014	13:31:52	18,2	58,2	18,4	60,1	18,2	63,4	22,5	45,9	-	-	3,365	0,365
10.05.2014	14:01:52	18,7	56,5	18,8	58,7	18,5	61,7	22,6	45,7	20,500	-0,500	3,077	0,423
10.05.2014	14:31:52	18,2	57,4	18,5	58,7	18,4	62,5	22,6	45,8	-21,000	1,500	3,275	0,255
10.05.2014	15:01:52	17,6	62,1	17,9	63,4	17,8	67,0	22,5	47,3	-23,500	1,500	4,020	0,265
10.05.2014	15:31:52	18,3	60,1	17,6	64,8	16,9	70,9	20,7	52,7	2,714	0,500	1,685	0,435

Lisa C Teise katse mõõtmistulemused ja kasutegurid.

Tabel C.1 Ventilatsiooniseadme SWEGON GOLD 25 D RX sissepuhke-, sissetõmbe-, väljapuhke-, väljatõmbeparameetrid ventilaator elektritarve ning vastavad kasutegurid ajavahemikus 15.05.2014 kuni 16.05.2014.

Kuupäev	Aeg	$\theta_{11}, ^\circ\text{C}$	$x_{11}, \%$	$\theta_{12}, ^\circ\text{C}$	$x_{12}, \%$	$\theta_{21}, ^\circ\text{C}$	$x_{21}, \%$	$\theta_{22}, ^\circ\text{C}$	$x_{22}, \%$	P_{el}, W	$\eta_{\theta, su}$	$\eta_{\theta, ex}$	$\eta_{x, su}$	$\eta_{x, ex}$	η_p
15.05.2014	13:26:28	20,9	33,2	18,0	40,2	16,6	45,0	19,1	39,3	155,1	0,581	0,674	0,483	0,593	0,683
15.05.2014	13:36:28	20,8	33,5	17,6	40,0	16,0	45,7	18,1	41,8	141,6	0,438	0,667	0,320	0,533	0,674
15.05.2014	13:46:28	20,8	33,5	17,9	38,8	15,9	44,2	18,2	41,8	134,9	0,469	0,592	0,224	0,495	0,598
15.05.2014	13:56:28	20,9	33,2	17,9	36,8	16,0	42,5	18,6	41,0	141,6	0,531	0,612	0,161	0,387	0,619
15.05.2014	14:06:28	21,0	32,9	17,9	38,0	16,1	43,3	19,1	39,7	131,5	0,612	0,633	0,346	0,490	0,639
15.05.2014	14:16:28	21,0	33,1	17,8	40,1	16,0	45,2	19,1	39,8	138,3	0,620	0,640	0,446	0,579	0,647
15.05.2014	14:26:28	21,0	33,3	17,7	41,1	15,9	46,7	18,7	41,0	141,6	0,549	0,647	0,425	0,582	0,654
15.05.2014	14:36:28	21,0	33,4	17,6	40,4	15,8	46,2	18,5	41,7	131,5	0,519	0,654	0,352	0,547	0,660
15.05.2014	14:46:28	21,0	33,4	17,8	42,0	15,7	49,3	18,1	42,8	124,8	0,453	0,604	0,409	0,541	0,609
15.05.2014	14:56:28	21,0	35,1	17,6	42,3	15,7	47,6	18,4	43,9	138,3	0,509	0,642	0,296	0,576	0,648
15.05.2014	15:06:28	21,0	35,0	17,5	41,5	15,5	48,0	18,1	44,6	124,8	0,473	0,636	0,262	0,500	0,642
15.05.2014	15:16:28	21,1	34,6	17,8	40,6	15,4	47,7	17,5	46,0	131,5	0,368	0,579	0,130	0,458	0,585
15.05.2014	15:26:28	21,1	34,5	17,6	40,6	15,3	47,6	17,6	45,6	128,2	0,397	0,603	0,153	0,466	0,609
15.05.2014	15:36:28	21,1	34,4	17,8	39,9	15,1	48,3	17,3	46,2	128,2	0,367	0,550	0,151	0,396	0,555
15.05.2014	15:46:28	21,0	34,3	17,5	41,5	14,9	49,6	17,2	46,4	128,2	0,377	0,574	0,209	0,471	0,579
15.05.2014	15:56:28	20,9	34,7	17,7	40,3	15,0	47,8	17,1	46,3	138,3	0,356	0,542	0,115	0,427	0,548
15.05.2014	16:06:28	20,8	34,7	17,7	39,7	15,0	48,6	16,9	46,8	134,9	0,328	0,534	0,129	0,360	0,540
15.05.2014	16:16:28	20,8	34,3	17,6	39,4	15,1	46,7	17,3	45,4	121,4	0,386	0,561	0,105	0,411	0,567
15.05.2014	16:26:28	21,0	33,9	17,8	38,4	15,3	47,2	17,9	43,8	134,9	0,456	0,561	0,256	0,338	0,567
15.05.2014	16:36:28	21,0	33,9	17,6	39,0	15,2	47,0	17,8	44,0	128,2	0,448	0,586	0,229	0,389	0,592
15.05.2014	16:46:28	21,0	34,0	17,5	38,8	15,1	46,2	17,6	44,7	131,5	0,424	0,593	0,123	0,393	0,599

Tabel C.1. järg

Kuupäev	Aeg	$\theta_{11}, ^\circ\text{C}$	$x_{11}, \%$	$\theta_{12}, ^\circ\text{C}$	$x_{12}, \%$	$\theta_{21}, ^\circ\text{C}$	$x_{21}, \%$	$\theta_{22}, ^\circ\text{C}$	$x_{22}, \%$	P_{el}, W	$\eta_{\theta, su}$	$\eta_{\theta, ex}$	$\eta_{x, su}$	$\eta_{x, ex}$	η_p
15.05.2014	16:56:28	20,9	34,0	17,6	39,2	15,0	47,0	17,2	45,7	131,5	0,373	0,559	0,100	0,400	0,565
15.05.2014	17:06:28	20,9	34,0	17,8	37,7	15,1	45,2	17,0	45,6	128,2	0,328	0,534	-0,036	0,330	0,540
15.05.2014	17:16:28	20,8	33,9	17,6	38,3	15,1	46,2	17,2	45,0	128,2	0,368	0,561	0,098	0,358	0,567
15.05.2014	17:26:28	20,8	33,8	17,6	37,5	15,0	44,9	17,0	45,6	131,5	0,345	0,552	-0,063	0,333	0,557
15.05.2014	17:36:28	20,8	33,5	17,7	37,3	15,0	45,2	16,8	45,6	131,5	0,310	0,534	-0,034	0,325	0,540
15.05.2014	17:46:28	20,8	33,4	17,6	37,5	15,0	44,7	16,9	45,2	114,7	0,328	0,552	-0,044	0,363	0,557
15.05.2014	17:56:28	20,7	33,3	17,5	37,8	14,8	44,9	16,7	45,1	131,5	0,322	0,542	-0,017	0,388	0,548
15.05.2014	18:06:28	20,7	33,1	17,7	36,3	14,8	44,9	16,4	45,6	131,5	0,271	0,508	-0,059	0,271	0,514
15.05.2014	18:16:28	20,7	32,9	17,5	36,8	14,8	44,7	16,5	45,2	138,3	0,288	0,542	-0,042	0,331	0,548
15.05.2014	18:26:28	20,7	33,0	17,5	36,3	14,7	43,4	16,5	44,8	145,0	0,300	0,533	-0,135	0,317	0,539
15.05.2014	18:36:28	20,7	32,8	17,5	35,4	14,5	42,7	16,2	45,3	131,5	0,274	0,516	-0,263	0,263	0,521
15.05.2014	18:46:28	20,7	32,5	17,5	34,7	14,3	43,3	15,9	45,8	141,6	0,250	0,500	-0,231	0,204	0,505
15.05.2014	18:56:28	20,6	32,3	17,4	34,8	14,1	43,0	15,6	46,1	148,4	0,231	0,492	-0,290	0,234	0,498
15.05.2014	19:06:28	20,6	32,0	17,5	35,7	14,0	44,9	15,4	46,3	148,4	0,212	0,470	-0,109	0,287	0,475
15.05.2014	19:16:28	20,6	31,9	17,5	34,1	13,8	43,4	15,2	46,7	134,9	0,206	0,456	-0,287	0,191	0,461
15.05.2014	19:26:28	20,6	31,8	17,3	35,5	13,5	45,0	14,9	47,4	141,6	0,197	0,465	-0,182	0,280	0,470
15.05.2014	19:36:28	20,6	31,7	17,5	36,7	13,3	47,4	14,5	48,3	118,0	0,164	0,425	-0,057	0,318	0,429
15.05.2014	19:46:28	20,6	31,6	17,5	37,5	13,2	49,3	14,4	48,9	134,9	0,162	0,419	0,023	0,333	0,423
15.05.2014	19:56:28	20,6	31,7	17,2	38,3	13,1	50,2	14,3	49,3	124,8	0,160	0,453	0,049	0,357	0,457
15.05.2014	20:06:28	20,6	31,9	17,4	37,8	12,9	51,0	14,0	50,3	121,4	0,143	0,416	0,037	0,309	0,419
15.05.2014	20:16:28	20,5	31,9	17,3	38,6	12,6	52,2	13,6	51,5	121,4	0,127	0,405	0,034	0,330	0,409
15.05.2014	20:26:28	20,5	32,1	17,2	38,4	12,4	52,2	13,4	52,2	124,8	0,123	0,407	0,000	0,313	0,411
15.05.2014	20:36:28	20,5	32,0	17,4	37,0	12,2	52,5	13,1	53,2	101,2	0,108	0,373	-0,034	0,244	0,376
15.05.2014	20:46:28	20,5	32,0	17,2	37,0	11,9	52,0	12,9	53,9	104,5	0,116	0,384	-0,095	0,250	0,387
15.05.2014	20:56:28	20,5	32,0	17,3	36,2	11,7	52,0	12,6	54,5	118,0	0,102	0,364	-0,125	0,210	0,367
15.05.2014	21:06:28	20,5	31,9	17,4	35,6	11,4	52,2	12,2	55,3	121,4	0,088	0,341	-0,153	0,182	0,344

Tabel C.1. järg

Kuupäev	Aeg	$\theta_{11}, ^\circ\text{C}$	$x_{11}, \%$	$\theta_{12}, ^\circ\text{C}$	$x_{12}, \%$	$\theta_{21}, ^\circ\text{C}$	$x_{21}, \%$	$\theta_{22}, ^\circ\text{C}$	$x_{22}, \%$	P_{el}, W	$\eta_{\theta, su}$	$\eta_{\theta, ex}$	$\eta_{x, su}$	$\eta_{x, ex}$	η_p
15.05.2014	21:16:28	20,5	31,7	17,2	35,3	11,2	52,0	12,1	55,8	151,8	0,097	0,355	-0,187	0,177	0,359
15.05.2014	21:26:28	20,5	31,7	17,2	35,1	11,0	52,3	11,9	56,1	148,4	0,095	0,347	-0,184	0,165	0,351
15.05.2014	21:36:28	20,5	31,5	17,3	34,2	10,9	52,2	11,6	56,8	185,5	0,073	0,333	-0,222	0,130	0,338
15.05.2014	21:46:28	20,5	31,2	17,3	34,2	10,6	52,7	11,3	57,4	172,0	0,071	0,323	-0,219	0,140	0,327
15.05.2014	21:56:28	20,5	31,0	17,2	33,5	10,4	52,3	11,1	57,8	151,8	0,069	0,327	-0,258	0,117	0,330
15.05.2014	22:06:28	20,4	30,8	17,2	33,6	10,2	52,5	10,9	58,0	138,3	0,069	0,314	-0,253	0,129	0,317
15.05.2014	22:16:28	20,4	30,7	17,3	33,1	10,0	52,7	10,6	58,5	151,8	0,058	0,298	-0,264	0,109	0,302
15.05.2014	22:26:28	20,5	30,4	17,4	32,6	9,9	52,9	10,4	58,9	236,1	0,047	0,292	-0,267	0,098	0,298
15.05.2014	22:36:28	20,5	30,3	17,4	32,3	9,7	53,0	10,2	59,3	232,7	0,046	0,287	-0,278	0,088	0,292
15.05.2014	22:46:28	20,5	30,1	17,3	32,2	9,6	53,1	10,1	59,4	202,3	0,046	0,294	-0,274	0,091	0,298
15.05.2014	22:56:28	20,4	29,9	17,3	32,4	9,4	53,7	9,9	59,7	259,7	0,045	0,282	-0,252	0,105	0,288
15.05.2014	23:06:28	20,4	29,7	17,2	32,3	9,3	54,0	9,7	60,0	215,8	0,036	0,288	-0,247	0,107	0,293
15.05.2014	23:16:28	20,4	29,6	17,3	32,3	9,1	54,9	9,5	60,6	161,9	0,035	0,274	-0,225	0,107	0,278
15.05.2014	23:26:28	20,4	29,4	17,4	32,0	8,9	55,4	9,2	61,4	161,9	0,026	0,261	-0,231	0,100	0,264
15.05.2014	23:36:28	20,4	29,3	17,4	32,0	8,7	55,7	9,1	61,8	175,4	0,034	0,256	-0,231	0,102	0,260
15.05.2014	23:46:28	20,4	29,2	17,3	31,9	8,6	56,2	8,9	62,2	128,2	0,025	0,263	-0,222	0,100	0,265
15.05.2014	23:56:28	20,4	29,2	17,3	31,9	8,4	56,7	8,7	62,8	134,9	0,025	0,258	-0,222	0,098	0,261
16.05.2014	00:06:28	20,4	29,1	17,3	31,4	8,3	56,7	8,5	63,1	151,8	0,017	0,256	-0,232	0,083	0,259
16.05.2014	00:16:28	20,4	28,9	17,4	31,4	8,1	57,0	8,4	63,5	195,6	0,024	0,244	-0,231	0,089	0,248
16.05.2014	00:26:28	20,4	28,8	17,4	31,2	8,0	57,2	8,2	63,8	161,9	0,016	0,242	-0,232	0,085	0,245
16.05.2014	00:36:28	20,4	28,7	17,4	31,2	7,9	57,5	8,2	64,1	141,6	0,024	0,240	-0,229	0,087	0,243
16.05.2014	00:46:28	20,4	28,7	17,3	31,2	7,7	58,2	7,9	64,7	236,1	0,016	0,244	-0,220	0,085	0,249
16.05.2014	00:56:28	20,4	28,5	17,3	31,2	7,6	58,7	7,8	65,1	104,5	0,016	0,242	-0,212	0,089	0,244
16.05.2014	01:06:28	20,4	28,5	17,3	31,2	7,4	58,8	7,6	65,4	222,6	0,015	0,238	-0,218	0,089	0,243
16.05.2014	01:16:28	20,4	28,4	17,4	31,0	7,3	59,7	7,4	66,1	226,0	0,008	0,229	-0,204	0,083	0,233
16.05.2014	01:26:28	20,4	28,3	17,4	30,8	7,2	59,7	7,3	66,6	199,0	0,008	0,227	-0,220	0,080	0,231

Tabel C.1. järgi

Kuupäev	Aeg	$\theta_{11}, ^\circ\text{C}$	$x_{11}, \%$	$\theta_{12}, ^\circ\text{C}$	$x_{12}, \%$	$\theta_{21}, ^\circ\text{C}$	$x_{21}, \%$	$\theta_{22}, ^\circ\text{C}$	$x_{22}, \%$	P_{el}, W	$\eta_{\theta, su}$	$\eta_{\theta, ex}$	$\eta_{x, su}$	$\eta_{x, ex}$	η_p
16.05.2014	01:36:28	20,4	28,2	17,4	30,9	7,0	60,7	7,1	67,3	155,1	0,007	0,224	-0,203	0,083	0,227
16.05.2014	01:46:28	20,4	28,2	17,4	30,8	6,8	61,2	6,9	67,8	141,6	0,007	0,221	-0,200	0,079	0,223
16.05.2014	01:56:28	20,4	28,2	17,3	31,0	6,7	62,3	6,8	68,5	128,2	0,007	0,226	-0,182	0,082	0,229
16.05.2014	02:06:28	20,4	28,1	17,4	31,1	6,5	63,3	6,6	69,4	131,5	0,007	0,216	-0,173	0,085	0,218
16.05.2014	02:16:28	20,4	28,0	17,4	31,0	6,3	64,2	6,3	71,0	215,8	0,000	0,213	-0,188	0,083	0,216
16.05.2014	02:26:28	20,4	28,0	17,4	31,4	6,1	65,9	6,0	72,4	222,6	-0,007	0,210	-0,172	0,090	0,214
16.05.2014	02:36:28	20,4	28,0	17,5	31,2	5,9	66,5	5,8	73,1	212,5	-0,007	0,200	-0,171	0,083	0,204
16.05.2014	02:46:28	20,4	28,0	17,5	30,8	5,8	66,4	5,7	73,4	209,1	-0,007	0,199	-0,182	0,073	0,202
16.05.2014	02:56:28	20,4	27,9	17,5	30,5	5,8	66,1	5,7	73,0	236,1	-0,007	0,199	-0,181	0,068	0,203
16.05.2014	03:06:28	20,4	27,8	17,5	30,4	5,7	66,4	5,6	73,2	252,9	-0,007	0,197	-0,176	0,067	0,201
16.05.2014	03:16:28	20,4	27,8	17,5	30,4	5,6	66,6	5,5	73,7	168,6	-0,007	0,196	-0,183	0,067	0,199
16.05.2014	03:26:28	20,4	27,7	17,5	30,1	5,5	66,1	5,4	73,5	219,2	-0,007	0,195	-0,193	0,063	0,198
16.05.2014	03:36:28	20,4	27,6	17,4	30,2	5,4	66,6	5,3	73,7	283,3	-0,007	0,200	-0,182	0,067	0,205
16.05.2014	03:46:28	20,4	27,6	17,4	30,1	5,3	66,7	5,2	74,0	266,4	-0,007	0,199	-0,187	0,064	0,203
16.05.2014	03:56:28	20,4	27,6	17,4	29,7	5,2	66,7	5,1	74,1	259,7	-0,007	0,197	-0,189	0,054	0,202
16.05.2014	04:06:28	20,4	27,5	17,4	30,1	5,1	67,0	5,0	74,1	212,5	-0,007	0,196	-0,180	0,066	0,199
16.05.2014	04:16:28	20,4	27,3	17,5	30,2	5,1	67,6	4,9	74,4	202,3	-0,013	0,190	-0,169	0,072	0,193
16.05.2014	04:26:28	20,4	27,3	17,5	30,2	5,0	68,1	4,8	75,7	158,5	-0,013	0,188	-0,186	0,071	0,191
16.05.2014	04:36:28	20,4	27,3	17,5	30,4	4,8	68,8	4,6	76,2	148,4	-0,013	0,186	-0,178	0,075	0,188
16.05.2014	04:46:28	20,4	27,3	17,5	30,3	4,8	68,8	4,6	76,2	222,6	-0,013	0,186	-0,178	0,072	0,189
16.05.2014	04:56:28	20,4	27,3	17,5	30,6	4,8	69,6	4,5	76,6	219,2	-0,019	0,186	-0,165	0,078	0,189
16.05.2014	05:06:28	20,4	27,3	17,6	30,7	4,8	69,7	4,6	76,4	232,7	-0,013	0,179	-0,158	0,080	0,183
16.05.2014	05:16:28	20,4	27,3	17,6	30,7	4,9	70,8	4,8	76,4	202,3	-0,006	0,181	-0,129	0,078	0,184
16.05.2014	05:26:28	20,4	27,3	17,7	30,7	5,0	69,9	4,8	76,3	155,1	-0,013	0,175	-0,150	0,080	0,178
16.05.2014	05:36:28	20,4	27,3	17,6	30,9	5,0	70,9	4,9	76,5	155,1	-0,006	0,182	-0,128	0,083	0,184
16.05.2014	05:46:28	20,4	27,3	17,6	31,2	5,1	71,4	5,0	76,8	151,8	-0,007	0,183	-0,122	0,088	0,185

Tabel C.1. järg

Kuupäev	Aeg	$\theta_{11}, ^\circ\text{C}$	$x_{11}, \%$	$\theta_{12}, ^\circ\text{C}$	$x_{12}, \%$	$\theta_{21}, ^\circ\text{C}$	$x_{21}, \%$	$\theta_{22}, ^\circ\text{C}$	$x_{22}, \%$	P_{el}, W	$\eta_{\theta, su}$	$\eta_{\theta, ex}$	$\eta_{x, su}$	$\eta_{x, ex}$	η_p
16.05.2014	05:56:28	20,4	27,3	17,6	31,3	5,3	71,4	5,2	76,5	151,8	-0,007	0,185	-0,116	0,091	0,188
16.05.2014	06:06:28	20,4	27,4	17,7	31,3	5,5	70,8	5,5	75,7	165,2	0,000	0,181	-0,113	0,090	0,184
16.05.2014	06:16:28	20,4	27,4	17,7	31,7	5,7	69,8	5,8	74,2	148,4	0,007	0,184	-0,104	0,101	0,186
16.05.2014	06:26:28	20,4	27,5	17,7	32,4	6,0	70,7	6,1	73,5	148,4	0,007	0,188	-0,065	0,113	0,190
16.05.2014	06:36:28	20,4	27,7	17,7	33,4	6,5	69,5	6,7	72,0	138,3	0,014	0,194	-0,060	0,136	0,197
16.05.2014	06:46:28	20,4	27,8	17,7	33,7	7,2	67,7	7,5	68,5	134,9	0,023	0,205	-0,020	0,148	0,207
16.05.2014	06:56:28	20,4	28,0	17,6	33,8	8,1	64,2	8,6	64,5	145,0	0,041	0,228	-0,008	0,160	0,230
16.05.2014	07:06:28	20,3	28,3	17,3	35,0	8,8	62,4	9,5	61,5	145,0	0,061	0,261	0,026	0,196	0,264
16.05.2014	07:16:28	20,3	28,5	17,5	36,1	9,6	60,5	10,4	58,5	128,2	0,075	0,262	0,063	0,238	0,265
16.05.2014	07:26:28	20,3	28,7	17,5	36,2	10,2	57,4	11,1	56,0	145,0	0,089	0,277	0,049	0,261	0,281
16.05.2014	07:36:28	20,3	28,9	17,4	34,9	11,0	55,2	12,1	53,1	124,8	0,118	0,312	0,080	0,228	0,315
16.05.2014	07:46:28	20,2	29,0	17,2	35,4	11,6	52,6	12,9	50,7	134,9	0,151	0,349	0,081	0,271	0,353
16.05.2014	07:56:28	20,3	29,1	17,5	34,3	12,1	50,6	13,4	49,0	118,0	0,159	0,341	0,074	0,242	0,345
16.05.2014	08:06:28	20,3	29,1	17,2	35,6	12,4	49,1	13,8	47,9	131,5	0,177	0,392	0,060	0,325	0,396
16.05.2014	08:16:28	20,3	29,4	17,3	34,6	12,7	49,3	14,0	47,8	138,3	0,171	0,395	0,075	0,261	0,399
16.05.2014	08:26:28	20,4	29,4	17,7	34,5	13,2	48,6	14,5	46,4	128,2	0,181	0,375	0,115	0,266	0,379
16.05.2014	08:36:28	20,4	29,6	17,3	36,1	13,5	48,0	15,1	45,1	128,2	0,232	0,449	0,158	0,353	0,454
16.05.2014	08:46:28	20,4	29,7	17,5	36,3	13,7	47,0	15,2	44,9	128,2	0,224	0,433	0,121	0,382	0,437
16.05.2014	08:56:28	20,4	29,8	17,7	36,2	13,9	46,6	15,3	44,8	131,5	0,215	0,415	0,107	0,381	0,420
16.05.2014	09:06:28	20,4	29,9	17,5	36,9	14,2	47,6	15,8	43,7	128,2	0,258	0,468	0,220	0,395	0,473
16.05.2014	09:16:28	20,4	30,0	17,6	37,6	14,4	46,8	16,2	42,8	128,2	0,300	0,467	0,238	0,452	0,472
16.05.2014	09:26:28	20,4	30,1	17,7	36,1	14,8	46,7	16,5	42,2	114,7	0,304	0,482	0,271	0,361	0,487
16.05.2014	09:36:28	20,4	30,3	17,5	37,5	15,0	45,4	17,0	41,3	124,8	0,370	0,537	0,272	0,477	0,543
16.05.2014	09:46:28	20,4	30,5	17,7	37,0	15,3	44,2	17,3	40,8	111,3	0,392	0,529	0,248	0,474	0,535
16.05.2014	09:56:28	20,4	30,7	17,8	36,1	15,4	44,7	17,4	40,8	124,8	0,400	0,520	0,279	0,386	0,526
16.05.2014	10:06:28	20,5	30,8	17,7	38,1	15,6	43,5	17,6	40,2	131,5	0,408	0,571	0,260	0,575	0,578

Tabel C.1. järg

Kuupäev	Aeg	$\theta_{11}, ^\circ\text{C}$	$x_{11}, \%$	$\theta_{12}, ^\circ\text{C}$	$x_{12}, \%$	$\theta_{21}, ^\circ\text{C}$	$x_{21}, \%$	$\theta_{22}, ^\circ\text{C}$	$x_{22}, \%$	P_{el}, W	$\eta_{\theta, su}$	$\eta_{\theta, ex}$	$\eta_{x, su}$	$\eta_{x, ex}$	η_p
16.05.2014	10:16:28	20,5	31,0	17,9	37,1	15,9	43,5	17,9	39,9	114,7	0,435	0,565	0,288	0,488	0,571
16.05.2014	10:26:28	20,6	31,1	17,9	35,8	16,3	41,9	18,5	38,6	114,7	0,512	0,628	0,306	0,435	0,634
16.05.2014	10:36:28	20,6	31,4	18,0	37,1	16,5	41,3	18,9	37,9	131,5	0,585	0,634	0,343	0,576	0,642
16.05.2014	10:46:28	20,7	31,3	18,2	36,3	16,9	42,0	19,3	37,3	128,2	0,632	0,658	0,439	0,467	0,666
16.05.2014	10:56:28	20,6	31,7	17,9	37,8	16,8	41,0	20,1	35,7	124,8	0,868	0,711	0,570	0,656	0,718
16.05.2014	11:06:28	20,8	31,5	18,2	37,0	16,7	42,2	18,8	38,5	121,4	0,512	0,634	0,346	0,514	0,641
16.05.2014	11:16:28	20,7	31,6	18,0	37,7	16,9	40,9	20,0	36,0	138,3	0,816	0,711	0,527	0,656	0,719
16.05.2014	11:26:28	20,8	31,7	17,9	37,4	17,0	42,2	19,5	37,3	111,3	0,658	0,763	0,467	0,543	0,770
16.05.2014	11:36:28	20,7	31,9	17,9	37,6	16,8	41,2	19,8	36,4	124,8	0,769	0,718	0,516	0,613	0,726
16.05.2014	11:46:28	20,8	31,9	18,3	36,2	16,9	41,5	19,1	38,3	138,3	0,564	0,641	0,333	0,448	0,650

Lisa D Öhuvooluhulga andmed.

Tabel D.1.Sissepuhke ja väljapuhke ventilaatoritest läbivad õhu hulgad.

Aeg, min	m ₁₂ , kg/h	m ₂₂ , kg/h	Aeg, min	m ₁₂ , kg/h	m ₂₂ , kg/h	Aeg, min	m ₁₂ , kg/h	m ₂₂ , kg/h
15.05 12:58	4127,64	4130,70	15.05 15:16	4126,11	4115,40	15.05 17:34	4141,41	4132,23
15.05 13:04	4127,64	4125,34	15.05 15:22	4126,11	4134,53	15.05 17:40	4125,34	4132,23
15.05 13:10	4122,28	4130,70	15.05 15:28	4131,47	4139,12	15.05 17:46	4141,41	4136,82
15.05 13:16	4125,34	4121,52	15.05 15:34	4142,18	4121,52	15.05 17:52	4119,99	4132,23
15.05 13:22	4137,59	4131,47	15.05 15:40	4137,59	4132,23	15.05 17:58	4136,06	4132,23
15.05 13:28	4142,94	4126,11	15.05 15:46	4122,28	4121,52	15.05 18:04	4152,13	4121,52
15.05 13:34	4126,11	4142,18	15.05 15:52	4131,47	4121,52	15.05 18:10	4146,77	4100,86
15.05 13:40	4131,47	4126,11	15.05 15:58	4131,47	4137,59	15.05 18:16	4119,99	4136,82
15.05 13:46	4131,47	4131,47	15.05 16:04	4124,58	4133,00	15.05 18:22	4140,65	4121,52
15.05 13:52	4126,11	4136,82	15.05 16:10	4142,18	4120,75	15.05 18:28	4146,77	4110,04
15.05 13:58	4124,58	4130,70	15.05 16:16	4142,18	4136,06	15.05 18:34	4125,34	4121,52
15.05 14:04	4142,18	4126,11	15.05 16:22	4147,54	4136,06	15.05 18:40	4136,06	4113,10
15.05 14:10	4126,87	4120,75	15.05 16:28	4131,47	4136,06	15.05 18:46	4109,27	4139,88
15.05 14:16	4129,17	4131,47	15.05 16:34	4132,23	4130,70	15.05 18:52	4141,41	4116,93
15.05 14:22	4116,16	4126,11	15.05 16:40	4123,05	4127,64	15.05 18:58	4125,34	4133,00
15.05 14:28	4141,41	4131,47	15.05 16:46	4135,29	4127,64	15.05 19:04	4130,70	4138,35
15.05 14:34	4134,53	4126,11	15.05 16:52	4136,06	4148,30	15.05 19:10	4146,77	4142,94
15.05 14:40	4135,29	4126,11	15.05 16:58	4136,06	4129,17	15.05 19:16	4142,18	4136,82
15.05 14:46	4133,00	4131,47	15.05 17:04	4139,12	4128,41	15.05 19:22	4139,12	4146,01
15.05 14:52	4148,30	4126,11	15.05 17:10	4139,88	4133,00	15.05 19:28	4129,94	4139,88
15.05 14:58	4145,24	4147,54	15.05 17:16	4119,99	4137,59	15.05 19:34	4145,24	4136,82
15.05 15:04	4126,11	4141,41	15.05 17:22	4130,70	4132,23	15.05 19:40	4129,94	4135,29
15.05 15:10	4131,47	4129,94	15.05 17:28	4136,06	4121,52	15.05 19:46	4124,58	4146,01

Tabel D.1. järg

Aeg, min	m ₁₂ , kg/h	m ₂₂ , kg/h	Aeg, min	m ₁₂ , kg/h	m ₂₂ , kg/h	Aeg, min	m ₁₂ , kg/h	m ₂₂ , kg/h
15.05 19:52	4156,72	4129,17	15.05 22:22	4128,41	4134,53	16.05 00:52	4127,64	4130,70
15.05 19:58	4140,65	4101,62	15.05 22:28	4133,76	4133,76	16.05 00:58	4127,64	4129,94
15.05 20:04	4145,24	4128,41	15.05 22:34	4128,41	4137,59	16.05 01:04	4127,64	4125,34
15.05 20:10	4140,65	4153,66	15.05 22:40	4133,76	4126,87	16.05 01:10	4127,64	4129,94
15.05 20:16	4129,94	4123,05	15.05 22:46	4133,76	4142,18	16.05 01:16	4129,94	4130,70
15.05 20:22	4140,65	4126,11	15.05 22:52	4128,41	4146,77	16.05 01:22	4126,87	4123,05
15.05 20:28	4146,01	4141,41	15.05 22:58	4128,41	4136,06	16.05 01:28	4137,59	4129,17
15.05 20:34	4137,59	4155,95	15.05 23:04	4133,76	4136,06	16.05 01:34	4142,94	4132,23
15.05 20:40	4129,17	4125,34	15.05 23:10	4136,06	4135,29	16.05 01:40	4126,87	4132,23
15.05 20:46	4139,88	4145,24	15.05 23:16	4138,35	4133,76	16.05 01:46	4132,23	4132,23
15.05 20:52	4145,24	4123,81	15.05 23:22	4127,64	4133,76	16.05 01:52	4126,87	4129,94
15.05 20:58	4123,81	4116,93	15.05 23:28	4122,28	4129,17	16.05 01:58	4132,23	4135,29
15.05 21:04	4134,53	4134,53	15.05 23:34	4127,64	4129,17	16.05 02:04	4132,23	4129,94
15.05 21:10	4123,81	4139,12	15.05 23:40	4127,64	4133,00	16.05 02:10	4121,52	4134,53
15.05 21:16	4134,53	4121,52	15.05 23:46	4133,00	4126,87	16.05 02:16	4132,23	4138,35
15.05 21:22	4139,88	4132,23	15.05 23:52	4127,64	4126,87	16.05 02:22	4135,29	4138,35
15.05 21:28	4139,88	4121,52	15.05 23:58	4127,64	4132,23	16.05 02:28	4131,47	4133,00
15.05 21:34	4139,88	4120,75	16.05 00:04	4122,28	4143,71	16.05 02:34	4142,18	4133,00
15.05 21:40	4134,53	4114,63	16.05 00:10	4122,28	4136,82	16.05 02:40	4142,18	4138,35
15.05 21:46	4131,47	4121,52	16.05 00:16	4127,64	4126,87	16.05 02:46	4136,82	4123,81
15.05 21:52	4139,12	4140,65	16.05 00:22	4133,00	4126,11	16.05 02:52	4131,47	4133,76
15.05 21:58	4133,76	4129,94	16.05 00:28	4133,00	4126,11	16.05 02:58	4131,47	4137,59
15.05 22:04	4139,12	4135,29	16.05 00:34	4127,64	4131,47	16.05 03:04	4142,18	4127,64
15.05 22:10	4139,12	4149,07	16.05 00:40	4127,64	4136,06	16.05 03:10	4131,47	4142,94
15.05 22:16	4133,76	4139,12	16.05 00:46	4127,64	4125,34	16.05 03:16	4126,11	4133,76

Tabel D.1. järg

Aeg, min	m ₁₂ , kg/h	m ₂₂ , kg/h	Aeg, min	m ₁₂ , kg/h	m ₂₂ , kg/h	Aeg, min	m ₁₂ , kg/h	m ₂₂ , kg/h
16.05 03:22	4131,47	4136,82	16.05 05:52	4132,23	4133,76	16.05 08:22	4129,94	4133,76
16.05 03:28	4126,11	4127,64	16.05 05:58	4137,59	4136,06	16.05 08:28	4133,76	4124,58
16.05 03:34	4142,18	4127,64	16.05 06:04	4133,00	4136,06	16.05 08:34	4136,82	4119,99
16.05 03:40	4131,47	4130,70	16.05 06:10	4133,00	4126,11	16.05 08:40	4136,82	4141,41
16.05 03:46	4136,82	4136,82	16.05 06:16	4133,00	4132,23	16.05 08:46	4142,18	4135,29
16.05 03:52	4136,82	4141,41	16.05 06:22	4138,35	4149,83	16.05 08:52	4142,18	4131,47
16.05 03:58	4136,82	4136,06	16.05 06:28	4133,00	4139,88	16.05 08:58	4120,75	4132,23
16.05 04:04	4126,11	4130,70	16.05 06:34	4133,00	4125,34	16.05 09:04	4136,82	4153,66
16.05 04:10	4136,82	4136,82	16.05 06:40	4130,70	4141,41	16.05 09:10	4120,75	4133,76
16.05 04:16	4126,11	4131,47	16.05 06:46	4128,41	4117,69	16.05 09:16	4126,87	4131,47
16.05 04:22	4131,47	4129,94	16.05 06:52	4133,76	4129,17	16.05 09:22	4126,87	4131,47
16.05 04:28	4147,54	4135,29	16.05 06:58	4143,71	4121,52	16.05 09:28	4132,23	4142,18
16.05 04:34	4126,11	4131,47	16.05 07:04	4139,88	4139,88	16.05 09:34	4132,23	4126,11
16.05 04:40	4136,82	4128,41	16.05 07:10	4137,59	4119,22	16.05 09:40	4133,76	4131,47
16.05 04:46	4136,82	4134,53	16.05 07:16	4124,58	4135,29	16.05 09:46	4132,23	4142,18
16.05 04:52	4131,47	4130,70	16.05 07:22	4135,29	4121,52	16.05 09:52	4132,23	4143,71
16.05 04:58	4136,82	4123,81	16.05 07:28	4135,29	4128,41	16.05 09:58	4121,52	4147,54
16.05 05:04	4126,11	4126,87	16.05 07:34	4129,94	4125,34	16.05 10:04	4121,52	4126,87
16.05 05:10	4131,47	4142,94	16.05 07:40	4136,82	4122,28	16.05 10:10	4126,87	4146,01
16.05 05:16	4136,82	4130,70	16.05 07:46	4125,34	4116,16	16.05 10:16	4137,59	4123,05
16.05 05:22	4126,11	4136,82	16.05 07:52	4125,34	4142,94	16.05 10:22	4131,47	4125,34
16.05 05:28	4131,47	4118,46	16.05 07:58	4114,63	4120,75	16.05 10:28	4132,23	4123,81
16.05 05:34	4124,58	4111,57	16.05 08:04	4130,70	4120,75	16.05 10:34	4126,87	4139,88
16.05 05:40	4126,87	4130,70	16.05 08:10	4125,34	4121,52	16.05 10:40	4121,52	4136,06
16.05 05:46	4126,87	4131,47	16.05 08:16	4130,70	4100,86	16.05 10:46	4126,11	4119,99

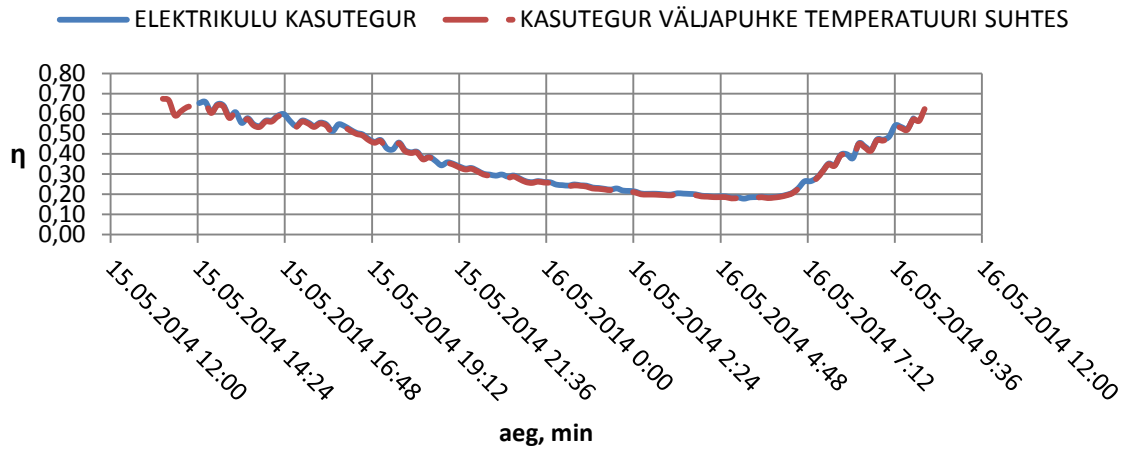
Tabel D.1. järg

Aeg, min	m ₁₂ , kg/h	m ₂₂ , kg/h	Aeg, min	m ₁₂ , kg/h	m ₂₂ , kg/h	Aeg, min	m ₁₂ , kg/h	m ₂₂ , kg/h
16.05 10:52	4136,82	4136,06	16.05 13:27	4127,64	4141,41	16.05 16:03	4148,30	4133,00
16.05 10:58	4121,52	4136,06	16.05 13:33	4138,35	4125,34	16.05 16:09	4121,52	4136,06
16.05 11:04	4125,34	4125,34	16.05 13:39	4128,41	4125,34	16.05 16:15	4137,59	4130,70
16.05 11:10	4137,59	4130,70	16.05 13:45	4127,64	4130,70	16.05 16:21	4148,30	4136,06
16.05 11:16	4142,94	4130,70	16.05 13:51	4136,82	4130,70	16.05 16:27	4132,23	4136,06
16.05 11:22	4116,16	4130,70	16.05 13:57	4132,23	4146,01	16.05 16:33	4132,23	4130,70
16.05 11:28	4141,41	4114,63	16.05 14:03	4126,11	4141,41	16.05 16:39	4116,16	4125,34
16.05 11:34	4137,59	4113,10	16.05 14:09	4126,87	4119,99	16.05 16:45	4137,59	4133,76
16.05 11:40	4126,87	4129,94	16.05 14:15	4126,87	4136,06	16.05 16:51	4132,23	4112,34
16.05 11:46	4126,11	4136,06	16.05 14:21	4126,87	4136,06	16.05 16:57	4126,87	4125,34
16.05 11:51	4133,00	4119,99	16.05 14:27	4132,23	4130,70	16.05 17:03	4126,11	4141,41
16.05 11:57	4127,64	4114,63	16.05 14:33	4126,87	4130,70	16.05 17:09	4131,47	4114,63
16.05 12:03	4127,64	4130,70	16.05 14:39	4137,59	4146,77	16.05 17:15	4126,11	4141,41
16.05 12:09	4138,35	4130,70	16.05 14:45	4126,87	4136,06	16.05 17:21	4136,82	4152,13
16.05 12:15	4124,58	4141,41	16.05 14:51	4132,23	4125,34	16.05 17:27	4142,18	4152,13
16.05 12:21	4140,65	4125,34	16.05 14:57	4137,59	4130,70	16.05 17:33	4142,18	4119,99
16.05 12:27	4117,69	4119,99	16.05 15:03	4142,94	4130,70	16.05 17:39	4136,82	4141,41
16.05 12:33	4138,35	4132,23	16.05 15:09	4132,23	4130,70	16.05 17:45	4126,11	4125,34
16.05 12:39	4133,00	4128,41	16.05 15:15	4126,87	4125,34	16.05 17:51	4126,11	4146,77
16.05 12:45	4133,00	4130,70	16.05 15:21	4132,23	4125,34	16.05 17:57	4131,47	4136,06
16.05 12:51	4129,17	4141,41	16.05 15:27	4126,87	4136,06	16.05 18:03	4142,18	4141,41
16.05 12:57	4126,11	4139,88	16.05 15:33	4137,59	4136,06	16.05 18:09	4131,47	4141,41
16.05 13:03	4136,82	4129,94	16.05 15:39	4132,23	4146,77	16.05 18:15	4147,54	4119,99
16.05 13:09	4133,00	4125,34	16.05 15:45	4121,52	4120,75	16.05 18:21	4142,18	4130,70
16.05 13:15	4133,00	4130,70	16.05 15:51	4137,59	4136,06	16.05 18:27	4142,18	4141,41
16.05 13:21	4128,41	4119,99	16.05 15:57	4121,52	4119,99	16.05 18:33	4131,47	4130,70

Tabel D.1. järg

Aeg, min	m₁₂, kg/h	m₂₂, kg/h	Aeg, min	m₁₂, kg/h	m₂₂, kg/h
16.05 18:39	4126,11	4141,41	16.05 21:15	4136,06	4131,47
16.05 18:45	4115,40	4152,13	16.05 21:21	4130,70	4140,65
16.05 18:51	4136,82	4141,41	16.05 21:27	4130,70	4133,76
16.05 18:57	4115,40	4125,34	16.05 21:33	4130,70	4142,94
16.05 19:03	4131,47	4130,70	16.05 21:39	4130,70	4126,87
16.05 19:09	4136,82	4136,06	16.05 21:45	4136,06	4137,59
16.05 19:15	4126,11	4119,99	16.05 21:51	4125,34	4137,59
16.05 19:21	4142,18	4125,34	16.05 21:57	4130,70	4148,30
16.05 19:27	4136,82	4146,77	16.05 22:03	4130,70	4120,75
16.05 19:33	4136,82	4136,06	16.05 22:09	4125,34	4135,29
16.05 19:39	4136,82	4130,70	16.05 22:15	4136,06	4138,35
16.05 19:45	4142,18	4125,34	16.05 22:21	4131,47	4133,76
16.05 19:51	4131,47	4141,41	16.05 22:27	4136,06	4140,65
16.05 19:57	4136,82	4136,06	16.05 22:33	4130,70	4123,05
16.05 20:03	4147,54	4119,99	16.05 22:39	4123,81	4116,93
16.05 20:09	4126,11	4135,29	16.05 22:45	4135,29	4133,00
16.05 20:15	4131,47	4140,65	16.05 22:51	4124,58	4133,00
16.05 20:21	4131,47	4129,94	16.05 22:57	4124,58	4127,64
16.05 20:27	4115,40	4123,05	16.05 23:03	4129,94	4130,70
16.05 20:33	4120,75	4126,87	16.05 23:09	4135,29	4126,87
16.05 20:39	4126,11	4131,47	16.05 23:15	4146,01	4136,82
16.05 20:45	4136,82	4152,89	16.05 23:21	4133,00	4139,12
16.05 20:51	4131,47	4136,82	16.05 23:27	4139,88	4133,00
16.05 20:57	4131,47	4126,11	16.05 23:33	4129,17	4126,87
16.05 21:03	4142,94	4136,82	16.05 23:39	4123,81	4147,54
16.05 21:09	4135,29	4141,41	16.05 23:45	4145,24	4123,05

Lisa E Elektrikulu ja väljapuhke temperatuuri suhtes leitud kasutegurite võrdlus.



Joonis E.1. Elektrikulu ja väljapuhke suhtes leitud kasutegurite muutus ajas.