



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

TTÜ Ehituse ja arhitektuuri instituut

SPAakeskuse sisekliima ja energiatõhususe analüüs

ANALYSIS OF THE INDOOR CLIMATE AND ENERGY EFFICIENCY OF SPA
CENTRE

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: KASPAR TRANKMANN

Üliõpilaskood 176709EAXM

Juhendaja: ALO MIKOLA, NOOREMTEADUR

Tallinn 2020

(Tiitellehe pöördel)

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.

"....." 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

.....

/ nimi ja allkiri /

TTÜ Ehituse ja arhitektuuri instituut
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kaspar Trankmann, 176709EAXM

Õppekava, peeriala: EAXM15/15 – Hooned ja rajatised, 7 – küte ja ventilatsioon

Juhendaja(d): Nooremteadur, Alo Mikola, +372 6202510

Lõputöö teema:

(eesti keeles) SPA KESKUSE SISEKLIIMA JA ENERGIATÕHUSUSE ANALÜÜS

(inglise keeles) ANALYSIS OF THE INDOOR CLIMATE AND ENERGY EFFICIENCY OF SPA CENTRE

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Analüüsida mõõtmistulemuste baasil spaakeskuse sisekliimat ja energiatõhusust
2. Koostada spaakeskuse hoone energiabilanssi mudel ja kalibreerida see vastavalt mõõtmisandmetele
3. Analüüsida mõõtmisandmete ja simulatsioonimudeli baasil spaakeskuse sisekliima ja energiatõhususe parendamise võimalusi

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Basseinihoonete sisekliima ja energiatõhususe alaste uuringute analüüs ja kirjanduse ülevaate koostamine	01.01.2020
2.	SPA sisekliima parameetrite ja energiakulu mõõtmine	01.03.2020
3.	SPA sisekliimaparameetrite analüüs	01.04.2020
4.	SPA energia ja võimsusbilanssi kokkupanek	01.04.2020
5.	SPA simulatsioonimudeli koostamine ja selle kalibreerimine vastavalt reaalsete mõõtmisandmetele	01.05.2020
6.	Võimalike energiasäästu parendusettepanekute analüüsimine ja väljapakumine	10.01.2020
7.	Lõputöö koostamine ja lõplik vormistamine	20.05.2020

Töö keel:eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "25"mai 2020a

Üliõpilane: Kaspar Trankmann "25"mai
2020a

/allkirjastatud digitaalselt/

Juhendaja: Alo Mikola "25"mai 2020a

/ allkirjastatud digitaalselt

Programmijuht: Ivar Annus "25"mai
2020a

/ allkirjastatud digitaalselt

Kinnise kaitsmise ja/või avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

FOREWORD

This study has its roots in the summer of 2018 when Mustamäe Elamuste Keskus, a spa centre, was still under construction. The centre at hand is developed by OÜ Astlanda Ehitus. It is currently the largest spa and recreation centre in Estonia. The initial objective of this study was to increase the energy efficiency of the centre. However, during the course of research it quickly became evident that analyzing its indoor climate would be an intrinsic part of the study, since it became a necessary condition for optimizing the energy efficiency.

I would firstly like to thank my Master's thesis supervisor Alo Mikola for fruitful consultations as well as constructive and guiding criticism. I would also like to give my thanks to my colleagues Tõnu Madisson, Renee Kulbas and Kaupo Kolsar.

I greatly appreciate all my cooperative partners. However, a special thank you goes to Toivo Kopli, the importer of Dantherm pool equipment; Valdis Parts, the project manager of building automation and control systems of Ecomatic AS; the technical staff of Mustamäe ElamusSpa and 1Kelvin OÜ.

Above all, I am appreciative of my family and friends who have always supported me during these busy times.

Respectfully

Kaspar Trankmann

Katase, 2020

EESSÕNA

Käesolev uurimustöö ideeni jõudsin ma 2018 aasta suvel, kui Mustamäe Elamuste Keskus oli veel ehitusjärgus. Tegu on OÜ Astlanda Ehituse arendatud, käesoleva aasta Eesti suurima spaa- ja vabaajakeskusega. Kuigi uurimustöö algne idee oli spaakeskuse energiatõhustamine, ei pääsenud ma töö käigus ümber ka sisekliima analüüsimisest, mis kujunes energiatõhustamisele tarvilikuks tingimuseks. Ühtekokku oli kasutatavate andmete töötlemine ja kogumine ajaliselt keskmisest keerulisemale hoonekompleksile iseloomulikult suuremamahuliseim, kuid väljapaistmatuim uurimustöö osa.

Sooviksin tänada magistritöö juhendajat Alo Mikolat sisukate konsultatsioonide ja suunava kriitika eest. Tänaksin ka häid kolleege Tõnu Madissooni, Renee Kulbast ning Kaupo Kolsarit.

Ühtlasi sooviksin teiste seas tänada koostööpartnereid:

Danthermi basseiniseadmete maaletoojat Toivo Koplit

Spaakeskuse hooneautomaatika projektijuhti Valdis Partsi

Mustamäe ElamusSpa ja 1Kelvin OÜ personali

Suurimad tänusõnad mu perele ja sõpradele, kes mulle kiiretel aegadel alati toeks on olnud.

Lugupidamisega

Kaspar Trankmann

Katase, 2020

SISUKORD

FOREWORD	5
EESSÕNA	6
Jooniste Loetelu	9
SISSEJUHATUS	12
1 Basseiniruumidega hoonete sisekliima alused	14
1.1 Õhu soojusniiskuslikud parameetrid basseinpindadega ruumides	14
1.1.1 Sisekliima nõuded spaakeskuses	14
1.1.2 Sisekliima parameetrite toime spaakeskuse konstruktsioonile	15
1.2 Soojusvahetusprotsessid basseiniruumides	16
1.2.1 Soojusvahetus soojusjuhtivusega läbi piirdetarindite	16
1.2.2 Soojusvahetus konvektiivselt ja kiiruslikult	18
1.3 Massivahetusprotsessid basseiniruumides	18
1.4 Niiske õhu omadused ja oleku muutused	22
2 Ülevaade spaa-kompleksist, selle tehnosüsteemidest ning mõõte- ja arvutusmetoodikatest	24
2.1 Ülevaade objektist	24
2.2 Mõõtemetoodika	28
2.2.1 Õhu parameetrite mõõtmine	28
2.2.2 Vee, elektri ja küttekulu mõõtemetoodika	28
2.2.3 Basseiniseadmete tööparameetrite mõõtemetoodika	30
2.2.4 Basseiniseadmete SV1...SV3 heitõhu mõõdistused	31
2.3 Basseiniruumide õhuvahetus-ja konditsioneerimisseadmed	33
2.3.1 DAN THERM DANX XWPS basseiniseadmete juht-ja tööpõhimõte	33
2.3.2 Basseinpindade simulatsioonimudel ja arvutusmetoodika	37
2.4 Basseiniseadmete ventilaatorite võimsuse ja soojuspumba töö mõõtmis- ja arvutusmetoodika	43
2.5 Spaakeskuse kasutuskarakteristika	44
3 Analüüs	46
3.1 Mõõdistuste analüüs	46
3.1.1 Sisekliima mõõdistuste analüüs	46
3.1.2 Niiskuseraldiste mõõdistuste analüüs	51

3.1.3 Sisekliima ja basseiniseadmete õhuvooluhulkade analüüsid tulenevad soovitud ning analüüsi kokkuvõte	55
3.1.4 Basseiniseadmete SV1...SV3 tööfunktsioonide analüüs mõtetulemuste alusel	56
3.2 Spaakeskuse vee- ja energiabilanss	67
3.2.1 Spaakeskuse veebilanss	67
3.2.2 Spaakeskuse energiabilanss	73
3.2.3 Basseinkütte energiabilanss	74
3.2.4 Niiskusbilanss	75
3.3 Spaakeskuse energiatõhustamine	76
3.3.1 Soojusenergia potentsiaal basseinide filtripesu- ja duššide hallvees.....	76
3.3.2 Basseinide katmine SV4 teenindustsoonis	79
3.3.3 Jääsoojus bilanss basseiniseadmete heitõhukanalis	83
KOKKUVÕTE	86
CONCLUSION	88
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	90
Lisad	92

JOONISTE LOETELU

Joonis 1.1 Vee faasiülekanne koefitsent.....	20
Joonis 1.2 Veeauru osarõhkude vahe sõltuvus basseinivee ja õhu temperatuuride vahest .	21
Joonis 1.3 Olukord HX diagrammil, kus aurustumist ei toimu	21
Joonis 2.1 Projektijärgne küttevõimsuste jaotus.....	25
Joonis 2.2 Ventilatsiooni agregaatide teenindustsoonid ja basseinide süstemaatiline jaotus	26
Joonis 2.3 Danthermi PoolX basseiniseadme põhimõtteskeem basseiniseadme SV4 talviste tööparameetrite näitel	34
Joonis 2.4 DANTHERM GROUP koolitusslaidide põhjal loodud klappide asendite ja kuivatusvajaduse eeldatavat vahetava iseloomustav joonis [34]	35
Joonis 2.5 DANTHERM GROUP koolitusslaidide põhjal loodud klappide asendite ja küttevajaduse eeldatavat vahetava iseloomustav joonis [34]	36
Joonis 2.6 Basseiniseadmete SV1...SV4 teenindustsoonide basseinpinnad IDA ICE simulatsiooniprogrammis	38
Joonis 2.7 Basseinpindade defineerimise valikuplatvorm.....	39
Joonis 2.8 Basseiniseadme SV4 teenindustsoonis „Ice Rinks and Pools“ rakendusest tulenevad muutujad.....	40
Joonis 2.9 Basseiniseadme juhtautomaatika skeem	41
Joonis 2.10 Esimese, teise ja kolmanda lineaarkontrolleri loogika diagramm	42
Joonis 2.11 Spaa- ja saunakeskuse külastajate hulk mõõdistusperioodil	45
Joonis 3.1 SV1 SP ja VT õhuvooluhulk ning niiskuseraldised läbi õhuvahetuse	51
Joonis 3.2 SV2 SP ja VT õhuvooluhulk	52
Joonis 3.3 SV2 niiskuseraldised läbi õhuvahetuse	53
Joonis 3.4 SV3 SP ja VT õhuvooluhulk	53
Joonis 3.5 SV3 niiskuseraldised läbi õhuvahetuse	54
Joonis 3.6 SV4 SP ja VT õhuvooluhulk	54
Joonis 3.7 SV4 niiskuseraldised läbi õhuvahetuse	55
Joonis 3.8 Õhutemperatuur basseiniseadmete SV1...SV3 teenindustsoonide väljatõmbekanalites	57
Joonis 3.9 Basseiniseadmete SV1...SV3 küttevajadused	57
Joonis 3.10 Basseiniseadmete SV1...SV3 kompressorite tööajad 19.04...21.04.19 mõõteperioodil.....	58

Joonis 3.11 Basseiniseadmete SV1...SV3 vesiküttekalorifeeri avatus	59
Joonis 3.12 Suhteline niiskus basseiniseadmete SV1...SV3 teenindustsoonide väljatõmbekanalites	59
Joonis 3.13 Basseiniseadmete SV1...SV3 kuivatusvajadused	60
Joonis 3.14 Basseiniseadmete SV1...SV3 soojusvahetist möödaviiguklapi avatused mõõdistusperioodil	60
Joonis 3.15 Basseiniseadmete SV1...SV3 õhuvõtu- ja väljaviskeklappide avatud asendid	61
Joonis 3.16 Proovimõõdistus „VERIS“ differentsiaalrõhu mõõtjate ja „testo 440“ anemomeetriga.....	63
Joonis 3.17 Staatiline ja dünaamiline rõhk SV1...SV3 ühises väljaviskekanalis	63
Joonis 3.18 Välisõhu temperatuur; SV1...SV3 temperatuur ja niiskussisaldus ühises väljaviskekanalis.....	64
Joonis 3.19 Väljatõmbeõhu vooluhulgad SV1...SV3 teenindustsoonides kasutus- ja kasutusvälistel aegadel	65
Joonis 3.20 SV1...SV3 heitõhu entalpiat ja massivooluhulk mõõdistusperioodil	66
Joonis 3.21 Potentsiaalne võimsus SV1...SV3 ühises heitõhukanalis.....	66
Joonis 3.22 Simulatsiooni põhjal kasutatav võimsus basseiniseadmete väljaviskes mõõdistusperioodil	67
Joonis 3.23 Spaakeskuse veeblinass	68
Joonis 3.24 Basseinide täitevee kulu	69
Joonis 3.25 Mõõteperioodil 04.03.2019 ... 21.03.2019 basseinide täitevee kulu jaotuse (ülemine) ja 2019. aasta basseinide täitevee kulu jaotus (alumine) graafik	70
Joonis 3.26 Perioodil 15.02.2019...20.03.2019 basseinide filtripesu proovipesu meetodi veekulu jaotus	71
Joonis 3.27 Perioodil 15.02.2019...20.03.2019 basseinide filtripesu graafilise meetodi veekulu jaotus	72
Joonis 3.28 Ööpäeva keskmine veekulu	72
Joonis 3.29 Basseinide veekulu bilanss	73
Joonis 3.30 Spaakeskuse soojusenergia bilanss	74
Joonis 3.31 Basseinkütte energiabilanss	74
Joonis 3.32 Basseinide niiskusbilanss	75
Joonis 3.33 Keskmised basseinpinna niiskuseraldised	76
Joonis 3.34 Soojusenergia kulu jaotus basseinide filtripesu veele	77
Joonis 3.35 Basseinide pinnauhiku kohta keskmine võimsus filtripesule soojakulule	78

Joonis 3.36 SV4 teenindustsoonis kaetud basseinpindadega niiskuseraldiste väärtused. ...	81
Joonis 3.37 Kaetud vs katmata SV4 teenindustsooni kaugkütte soojusenergia kulu	82
Joonis 3.38 SV4 teenindustsoonis basseinide öisest katmisest tulenev basseiniseadme elektrienergia kulu	83
Joonis 3.39 Niiske,- ja kuiva heitõhu entalpia	84
Joonis 3.40 Kasutatav soojusenergia basseiniseadmete väljaviskekambris [MWh]	85

SISSEJUHATUS

Uurimustöö käigus uuriti toimiva spaakeskuse sisekliima ja energiatõhususega seotud probleeme ning tegeleti nende parandamisega. Lõputöö objektiks on vastvalminud Mustamäe Elamuste Keskuse spaakompleks, kus asjade kokkulangevusel oli vajalik ehitatud süsteemide kontrollimine ning reguleerimine. Uurimustöö raames tegeleti erineva keerukusastmega süsteemidega ning nende omavahel ühildamisega.

Probleemi põhjuse leidmine on keeruline, kui see saab tulenda nii lähteülesande püstitamisest, projekteerimisest, ehitamisest, haldamisest, seadme rikkest või isegi mitme eelpool mainitud teguri koosmõjust. Oodatust suuremahulisem töö on esinenud probleemi väljaselgitamiseks vajalike mõõdistuste, erinevatelt platvormidelt andmete kogumise ja andmetöötluse taga. Seda „nähtamatu“ töö osa võibki pidada peamiseks põhjuseks, mis teeb erineva keerukusastmega süsteemide eesmärgipärase toimima saamise raskesti mõistetavaks või saavutatavaks. Töö käigus tuli ette suurel hulgal erinevate raskusastmetega anomaaliaid, mille põhjuseid ning tagamaid uuriti süvitsi. Sellised probleemid mõjutavad hoone eksploatatsiooni käiku ning selle kaudu ka tarbimisandmeid.

Erinevate basseiniseadmete tootjad rõhutavad, et basseiniruumides tekivad ulatuslikud aurustumisprotsessid [1], millega kaasnev õhuvahetus ja kuivatamine on spaakeskustes teiste süsteemide eksploatatsiooni kuluga võrreldes kõrge [2]. Vaadeldava objekti eripäraks on ujulatele- ja spaakeskustele iseloomulike aurustumisprotsesside uurimine, mis seavad teatavaid piiranguid sisekliimale ning lisavad huvitavaid nüansse energiatõhustamisele. Lõputöö eesmärk on mõõtetulemuste baasil spaakeskuse sisekliimat ja energiatõhusust analüüsida. Seejärel kasutada mõõtmistulemusi spaakeskuse hoone energiabilansi mudeli kalibreerimiseks. Mudeli ja mõõtmistulemuste baasil on tarvilik analüüsida spaakeskuse energiatõhususe parendamise võimalusi.

Spaakeskuse viibimistsoonis mõõdeti sisekliima uurimiseks korduvalt õhutemperatuuri ja suhtelist niiskust erinevate basseiniseadmete teenindustsoonides, ühtlasi on ühe basseiniseadme teenindustsoonis anemomeetriga mõõdetud õhu liikumiskiirust basseinipinna kohal. Samuti mõõdeti õhutemperatuuri ja suhtelist niiskust üheaegselt nii basseiniseadmete sissepuhke- ja väljatõmbekanalites kui ka õhuvõtu- ja väljaviskekanalis. Ühtlasi logiti läbi basseiniseadme kontrolleri tööparameetreid ja seadesuurusi. Koguti andmeid ka läbi hooneautomaatika vee-, elektri- ja küttekulu kohta. Läbi viidi mõõdistusi basseinide filtripesu veekulu hindamiseks. Teostati ka õhu soojusniiskuslike parameetrite, õhu liikumiskiiruse ja staatilise- ning kogurõhu mõõtmised basseiniseadmete ühises väljaviskekanalis.

Alahinnates vastvalminud hoone - kus erinevad muudatused ja süsteemide häälestamised on veel tööjärgus - analüüsimiseks tarvilike andmete kogumisega ilmnevaid takistusi, tuli uurimustöö raames erinevaid mõõtmisi korduvalt läbi viia.

Uuritud on basseinpindadega ruumidele tavaolukorrast kõrgema õhu niiskussisaldusega iseloomuliku keskuse sisekliimat.

Kogutud tarbimis,- ja mõõteandmetega simuleeriti spaakeskus simulatsioonitarkvaras IDA ICE. Kasutades lisarakendust „Ice Rinks and Pools“, on mudelisse sisestatud basseinpinnad, mille niiskuseraldiste karakteristikud on kokku sobitatud teostatud mõõtmistega. Välja selgitatud basseiniseadmete juhtloogika viidi samuti simulatsioonimudelisse üsna edukalt sisse. Mudel on kalibreeritud – teoreetiliste simulatsiooniarvutuste soojus ja massilevi protsessidele kuluv energia viidi ühtima tarbimisandmetega.

Energiatõhustamise raamistikus uuriti kolme põhilist energiatõhustamise meetodit. Selgitati välja suure veetarbega spaakeskusele iseloomulike tarbevee ja basseini filtrite pesuvee energeetiline väärtus. Uuriti basseinide katmise tõhusust nii basseinküttes baseeruvate aurustumisprotsesside kui ka basseiniseadme elektrikulu võtmes. Viimaseks selgitati mõõdistustele tuginedes välja basseiniseadmete heitõhu soojusniiskuslik potentsiaal.

1 BASSEINIRUUMIDEGA HOONETE SISEKLIIMA ALUSED

Basseinipindadega ruumide iseärasus on õhu niiskussisalduse suurenemine, mis tuleneb peaaesjalikult basseinipindade aurustumisest. Seetõttu on oluline luua kontrollitava sisekliimaga keskkond, milleks on tarvilikud basseiniseadmed ja erisugused süsteemid.

Spaa- ja veekeskustes on kõrgendatud nõuded sisekliimale, kus peetakse vajalikuks hoida õhu parameetreid kindlate seadesuuruste juures. Tarvilik on tagada sobiv keskkond küllastajatele. Lisaks termilisele mugavusele on oluline nii kasutatavate pindade sanitaarne olukord, mis on seotud muuhulgas mikroorganismide elukeskkonda mõjutava õhuniiskusega. Teisest küljest on sisekliima parameetrid olulised nii hoonele pika elukaare kui ka energiatõhusust silmas pidades optimaalsed soojus- ja massilevi protsesside tagamiseks.

Põhjalikult on Eestis uuritud sisekliima kujutamise teoreetilisi aluseid Mariliis Maripuu magistritöös, kus on muuhulgas uuritud ja võrreldud erinevaid allikaid. Uurimustöö oleks soovitatav võtta spaakeskuste protsesside teoreetilise arusaamise loomisel aluseks. [3]

1.1 Õhu soojusniiskuslikud parameetrid basseinipindadega ruumides

1.1.1 Sisekliima nõuded spaakeskuses

Juhindudes Saksamaa Inseneride Liidu (Verein Deutscher Ingenieure) juhendmaterjalist, VDI 2089 „Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern – Hallenbäder“, peab tulenevalt tervislikust füsioloogilistest mõjudest inimorganismile niiskussisaldus ruumiõhus jääma alla 14,3 g/kg_{kõ}. Antud väärtuse ületamine on lubatud vaid juhul, kui välisõhu niiskussisaldus on suvisele olukorrale iseloomulikult kõrgem kui 9,0 g/kg_{kõ}. [4] Soome tervisealase sisekliima suunistes LVI STM-00413 soovitatakse sarnaselt VDI 2089-le hoida basseiniruumide niiskussisaldus ruumiõhus alla 14,3 g/kg_{kõ}, lisades, et see on ligikaudu 20% alla iiveldusaistingu tekkeläve. [5] Ka teise Soome juhendmaterjalile LVI 06-10451 tuginedes seatakse maksimaalseks basseiniruumi õhuniiskuse sisalduseks 14,3 g/kg_{kõ}. [6] Näitena võib välja tuua, et 14,3 g/kg_{kõ} niiskussisalduse juures ja keskmise keskmise spaakeskuse ruumiõhu temperatuuri 30 °C juures on suhteline niiskus pisut alla 55%.

Samuti soovitab Soome juhendmaterjal – aurustumisintensiivsust ja soojusvahetust ruumiõhu ja basseinivee vahel silmas pidades – hoida õhutemperatuur basseinivee temperatuurist keskmiselt 1,5...2,5 °C kõrgemal, mitte aga üle 4 °C, eeldusel, et basseinivee temperatuur ei ületa 31 °C. [6] Tulenevalt täiendavast soojuskaost katmata kehadelt, seoses nii kehapinda katva veekile aurustumisega, kui ka mugavustundega soovitatakse VDI 2089-s hoida ruumiõhu temperatuuri vahemikus 2...4 °C kõrgemal, kui ruumis paikneva basseinpinna temperatuur. Samas ei soovitata basseiniruumi õhutemperatuuril lasta kasutusajal tõusta üle 34 °C. [4] Tervisealases suunitluses seevastu soovitatakse ruumiõhu temperatuur hoida 1...3°C kõrgemal ruumis paikneva basseinpinna temperatuurist, lastes õhulkasutusajal mitte üle 32 °C tõusta. Ühtlasi tuuakse välja, et kõrgema temperatuuriga teraapiliste väljunditega basseinidega ruumides tohib õhutemperatuur tõusta kuni 36 °C, ent sellisel juhul ei soovitata teenindaval personalil ruumides pidevalt viibida [5]

Rõhutatakse, et suhteline niiskus ei tohi olla püsivalt üle 60 %, mida ületades soodustuvad mikro- ja seenorganismide elutingimused hüppeliselt. [6]

1.1.2 Sisekliima parameetrite toime spaakeskuse konstruktsioonile

Tulenevalt basseinipindadega ruumide soojade veepindade ja aurustusintensiivsusega seotud iseärasustest, peab hoone konstruktsioon vastama teatavatele erinõuetele. Saksamaa väliskliima tingimustele baseeruv VDI-2089 juhendmaterjal soovitatakse basseiniruumi interjööri puit- ja metalldetailide ennetavaks kaitsmiseks hoida suhteline niiskus vahemikus 40...64 %. [4]

Spaakeskustele iseloomulikult kõrge siseõhu temperatuur ning õhu niiskussisaldus suurendavad riske hoone välispiiretele kondenseeruva niiskuse näol. Seetõttu peab hoone karp kestva elukaare tagamiseks minimaliseerima kondenseerumisohtu ka talve kõige külmematel päevadel. Eelkõige tuleb jälgida aknaid ning potentsiaalseid külmasildu tekitavaid väliskonstruktsiooni elemente. Välispiirete ehituskvaliteet soovitatakse hoida kõrgendatud tähelepanu all – tagatud peab olema piirete võimalikult kvaliteetne läbisoojustus ja aurutihedus. [7]

Kondenseerumisohtu vältimiseks võib välja tuua soovitused:

- Šveitsi õpetustele viidates, arvestades basseiniruumi õhutemperatuuriga, ei tohiks suhteline niiskus antud temperatuuride juures ületada väärtusi: 28 °C / 60 %; 30 °C / 55 %; 32 °C / 50 %. Tulenevalt välispiirde temperatuurist, ei tohi suhteline niiskus tõusta kondensaadi teket ennetades üle 85% - näitena tuuakse olukorda 28 °C / 60 %, kus peab välispiirde U-arv nõudele vastamiseks olema $\leq 0,9\text{W/m}^2\text{K}$. [6]

- Piirtingimusena tavapärasest kõrgema niiskussisaldusega ruume silmas pidades soovitatakse välisõhu temperatuuril -20 °C ja siseõhu temperatuuril 30 °C ja 65% RH U-arv akenpindadel hoida $\leq 0,75\text{W/m}^2\text{K}$. Ühtlasi on soovitatav paigutada suurte klaaspindadega ruumides ventilatsiooni sissepuhe akende alla põrandale, puhudes sooja õhku suurema soojusjuhtivusega akenpindadele, seeläbi väheneb kõrgemast kondenseerumisriskist tulenevat niiskuse kogunemise tõenäosus niiskuskahjustuse ohtu kujutavates hoone asukohtades. [7]

Samuti on tarvilik takistada niiskuse levimine piiretesse, mistõttu on soovitatav hoida basseiniruum kerges alarõhus [4]. Niiskus levib läbi konstruktsiooni kahel põhilisel moodusel. [3]

- Niiskuse levimine difusiooni teel on tingitud sise- ja väliskeskonna veeauru osarõhkude erinevusest.
- Niiskuse levimine niiskuskonvektsiooni teel on tingitud siseruumide ülerõhust tuleneva õhuvooluga läbi konstruktsiooni ebatiheduse.

1.2 Soojusvahetusprotsessid basseiniruumides

1.2.1 Soojusvahetus soojusjuhtivusega läbi piirdetarindite

Üks arvestatav komponent basseinkütte energiakulust tuleneb soojuskaost läbi basseini ümbritsevate välispiirete. Soojad basseinid kütavad ka neid ümbritsevad pinnad soojaks, mille suureneb soojuskadu läbi piirete. Basseinküte mõjutab ka (eriti kõrgete U-arvudega raskbetoonist sisepiiretega ruumides) basseinipiiretega piirnevatesse siseruumide ja seeläbi ka läbi välispiirete väliskeskonda edasiantavat soojust. [8]

Maapinnaga kontaktis oleva põranda ja keldri seinaga soojuserikaad sõltuvad mitmest tegurist. Sealhulgas põranda pindalast ja perimeetrist, keldri põranda sügavusest maapinnast, maapinna soojustehnilistest omadustest. [9]

Basseinide seinad ja põhi kuuluvad üldjuhul hoone keldri juurde. Kehtiva standardi EVS-EN ISO 13370:2017 „Hoonete soojuslik toimivus. Soojuslevi pinnasesse. Arvutusmeetodid.“ alusel on otstarbekas hinnata basseinide soojuskadu läbi basseinidega külgnevate ruumide välispiirete. Antud lähenemine kehtib väliskeskonna talvisel miinimumtemperatuuril. [10]

Edasisteks arvutusteks on tarvilik välja selgitada põranda tunnismõõtmed. Põranda tunnismõõtmed on võrdelised põranda pindalaga ja pöördvõrdelised poolega hoone perimeetri ümbermõõdust.

$$B = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad 1.1$$

, kus B on põranda tunnismõõt [m];

A on põranda pindala [m²];

P on siseruumi avatud põranda perimeeter [m].

Ühtlasi on tarvilik teada keldripõranda soojustuse ekvivalentset paksust, mis tuleneb keldri põrandaga piirneva välisseina kogupaksusest ning pinnase soojuserijuhtivuse põrandakonstruktsiooni summaarse soojustakistuse avaldisest kujul:

$$d_f = d_{w,e} + \lambda_g \cdot (R_{si} + R_{f,sog} + R_{se}) \quad 1.2$$

, kus d_f on keldripõranda ekvivalentne kogupaksus [m];

$d_{w,e}$ on välisseina või vundamendi seina kogupaksus koos kõikide kihtidega [m];

λ_g on pinnase soojuserijuhtivus [W/(m·K)];

R_{si} on sisepinna soojustakistus [m²·K/W];

$R_{f,sog}$ on põrandaplaadi soojustakistus [m²·K/W];

R_{se} on välispinna soojustakistus [m²·K/W].

Soojustamata või mõõdukalt soojustatud keldripõrandate puhul (kui $d_f < B$) kehtib allolev seos keldripõranda soojuslähivuse leidmiseks. Keldripõranda soojuslähivus on seoseliselt võrdeline pinnase soojuserijuhtivuse ning on naturaallogaritmilises suhtes põranda tunnismõõtmega. Ühtlasi on keldripõranda soojuslähivus pöördvõrdeline põranda tunnismõõtmega, põranda ekvivalentse kogupaksusega ja keldri sügavusega.

$$U_{fg;sog} = \frac{2 \cdot \lambda_g}{\pi \cdot B + d_f + 0,5 \cdot z} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B}{d_f + 0,5 \cdot z} + 1 \right) \quad 1.3$$

, kus $U_{fg;b}$ on keldripõranda soojuslähivus [W/(m²·K)];

z on keldri sügavus maapinna suhtes [m].

Samuti kannavad osa sooja hoonest välja ka keldri põrandaga külgnevad vertikaalsed välispiirded, seega on vajalik teada ka keldriseinade ekvivalentse paksuse koguväärtust. Keldriseinade ekvivalentne kogupaksus tuleneb pinnase soojuserijuhtivuse ja keldri seinade summaarse soojustakistuse avaldisest.

$$d_{w;b} = \lambda_g \cdot (R_{si} + R_{f,sog} + R_{se}) \quad 1.4$$

, kus $d_{w;b}$ on keldriseinade ekvivalentne kogupaksus [m];

R_{si} on sisepinna soojustakistus [m²·K/W];

$R_{f,sog}$ on keldriseinte soojustakistus [m²·K/W];

R_{se} on välispinna soojustakistus [$m^2 \cdot K/W$];

Keldriseinade ekvivalentne kogupaksus tuleneb lisaks ka keldriseinte soojuslähivusest.

$$U_{wg;b} = \frac{2 \cdot \lambda_g}{\pi \cdot z} \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot d_f}{d_f + z}\right) \cdot \ln\left(\frac{z}{d_{w;b}} + 1\right) \quad 1.5$$

, kus $U_{wg;b}$ on keldriseinte soojuslähivus [$W/(m^2 \cdot K)$];

z on keldri sügavus maapinna suhtes [m].

$$U_{bg;eff} = \frac{A \cdot U_{f;b} + z \cdot P \cdot U_{w;b}}{A + z \cdot P} \quad 1.6$$

, kus $U_{bg;eff}$ on maapinnaga kontaktis oleva kogu keldri efektiivne soojuslähivus [$W/(m^2 \cdot K)$].

1.2.2 Soojusvahetus konvektiivselt ja kiirguslikult

Konvektiivne soojusvahetus toimub basseini ja ruumiõhu vahel. Soojus levib konvektiivselt soojemast keskkonnast külmemasse keskkonda. Teise soojusvahetusprotsessina toimub veepinna ja ruumiõhu vahel soojuslevi läbi konvektiivse soojusülekanne, mida kirjeldab Newton-Richmanni valem. [11]

$$q = \alpha \cdot (t_s - t_v) \quad 1.7$$

,kus q on pinnaühikult vedelikult/vedelikule ajaühikus kanduv soojusvoog [W/m^2];

α on konvektsiooni soojusülekandeegur $W/(m^2 \cdot K)$;

t_s on keskkonna temperatuur [$^{\circ}C$];

t_v on veepinna temperatuur [$^{\circ}C$].

Kiirguslikku soojusvahetust basseiniruumides süsteemide dimensioneerimisel eraldiseisvana üldiselt ei rakendata, üldistades arvustusi konvektiivse soojusvahetuse baasile. [12]

Küll aga on soovitatav inimorganismile termiliselt mugava sisekliima moodustamiseks interjööri kujundamisel meeles pidada basseini ümbritsevate pindade neeldus- ja peegeldustegureid. Soovituslik on sedapuhku uurida Stefan-Boltzmanni-, Kirchoffi jt tähtsamaid kiirguse seaduseid. [13]

1.3 Massivahetusprotsessid basseiniruumides

Selleks, et toimuks aurustumine, peab veeauru osarõhk veepinna kohal olema kõrgem ruumiõhu osarõhust. Kui aga ruumiõhu osarõhk on kõrgem veepinna kohal olevast veeauru osarõhust, toimub aurustumise asemel vee kondenseerumine ruumiõhust

basseini või misiganes pinnale, kus antud tingimus täidetud on. Kui vastavad partsiaalrõhud on võrdsed, massivahetust ei toimu. Samuti mõjutab protsessi kulgu basseiniruumi veepinna ja ümbritseva õhu aritmeetiline keskmine temperatuur kui ka basseinpinna pindala. [4]

Aurustumisprotsess basseini pinnalt õhku baseerub Daltoni seadusel. [11]

$$M = k \cdot \Delta p \quad 1.8$$

,kus M on aurustuva vee kogus [kg/s];

k on aurustumiskonstant;

Δp on veepinna vahetus läheduses küllastunud veeauru- ja ümbritsevas õhus veeauru partsiaalrõhkude vahe [mbar];

Basseinipindade aurustumist võib käsitleda spaades määrava soojus- ja massivahetusprotsessina. Niiskuseraldiste muutuvus basseiniruumides on sõltuvad peamiselt vee faasiülekande koefitsendist. Vee faasiülekande koefitsent iseloomustab kiirust - millest tulenevalt tekib veeauru vool, voolates läbi õhukile, mis on ühenduses veepinnaga. Aurustuva vee koguse basseinis kasutus- või kasutusvälisel ajal saab kindlaks teha VDI´st tuleneva massilevi printsiibiga. [4]

$$\dot{M}_{\frac{ka}{kv.a}} = \frac{\beta_{\frac{ka}{kv.a}}}{R_D \cdot T} \cdot (p_{a.p} - p_{a.\delta}) \cdot A_B \quad 1.9$$

,kus \dot{M}_{ka} , $\dot{M}_{kv.a}$ on aurustuva vee kogus kasutusajal, kasutusvälisel ajal [kg/h];

β_{ka} , $\beta_{kv.a}$ on vee faasiülekande koefitsent kasutusajal, kasutusvälisel ajal [m/h];

R_D on veeauru universaalne gaasikonstant, [$R_D=461,52$ J/kg·];

T on vee ja õhu temperatuuride aritmeetiline keskmine [K];

$p_{a.p}$ on partsiaalrõhk veeaurudega küllastunud õhus (vedeliku pinnal/temperatuuril) [Pa];

$p_{a.\delta}$ on veeauru partsiaalrõhk ümbritsevas õhus [Pa];

A_B on basseinpinna pindala [m²];

Eraldiseisvana saab vaadelda vee faasiülekande koefitsenti nii kasutus- kui ka kasutusvälisel ajal, kuna seda mõjutab veepinna liikuvus ja lainelisus. Samuti mõjutab faasiülekande koefitsenti atraktsioonidega basseinipindade (ringvool, veeseen, mullivann) iseärasus, mis seoses veepinna käitumise dünaamikaga niiskuseraldusi suurendavad. Basseinipindadega ruumides toimub aurustumine basseinide pindadelt kui ka märgunud pindadelt.

Kavandatav bassein	Vee faasiülekande koefitsent	
	Kasutusväline aeg β m/h	Kasutusaeg β m/h
Pealt kaetud basseinpind (aurustumine vaid ülevoolu rennidest)	0,7	–
Baeeinid:		
– Elumaja (privaat bassein)	7	21
– siseujula		
Vee sügavus > 1,35 m	7	28
Vee sügavus < 1,35 m*)	7	40
Kunstliku lainetusega bassein, lainetuse kasutamise ajal	7	50
Veeliümäed ja ringvoolu basseinid	–	50

Joonis 1.1 Vee faasiülekande koefitsent

Sarnaselt VDI käsitlusele on Daltoni seadusest pisut erineval kujul tuletatud ka ASHRAE käsitlus [14], mida on arvutamisel aluseks võtnud ka simulatsiooniprogramm IDA ICE. Valem on esitatud lihtsustatud kujul ning kehtib olukorras, kus õhu liikumiskiirus basseinpinna kohal jääb vahemikku 0,05...0,15 m/s.

$$w_p = 4 \cdot 10^{-5} \cdot A(p_w - p_a) \cdot F_a \quad 1.10$$

,kus w_p on aurustuva vee kogus [kg/s];

A on basseinpinna pindala [m²];

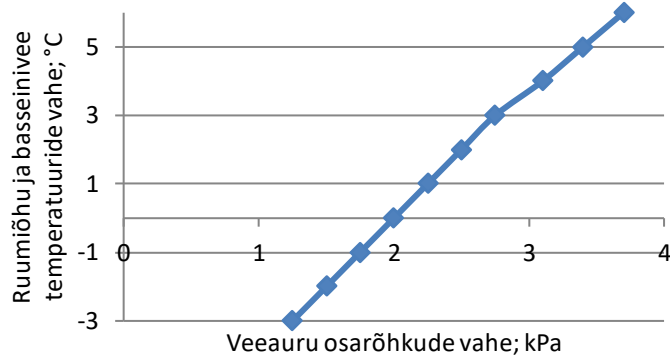
p_w on partsiaالرõhk veeaurudega küllastunud õhus (vedeliku pinnal/temperatuuril) [kPa];

p_a on veeauru partsiaالرõhk ümbritsevas õhus [kPa];

F_a on aktiivsusefaktor [Baseline (pool unoccupied) – 0,5; Residential pool – 0,5; Condominium – 0,65; Therapy – 0,65; Hotel – 0,8; Public, schools – 1,0; Whirlpools, spas – 1,0; Wavepools, water slides – 1,5 (minimum)]

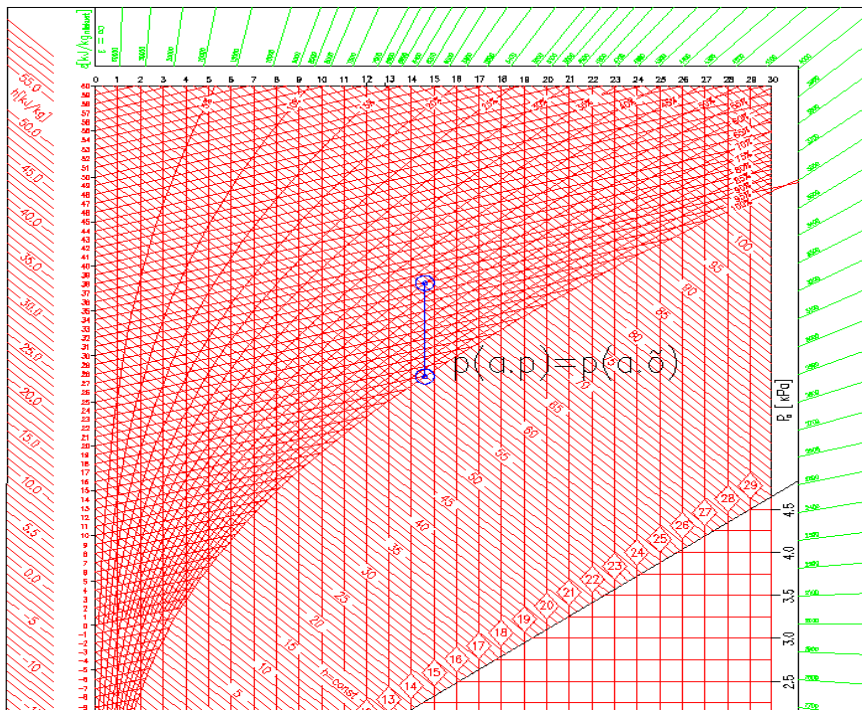
Ruumiõhus sõltub partsiaالرõhk õhu niiskussisaldusest. Antud õhu niiskussisaldusele vastavad partsiaالرõhud, mille vahest sõltub aurustumise intensiivsus. Aurustumiseks tarvilik soojus võetakse peamiselt basseinivee soojuse arvelt. Ühtlasi on tegu isotermilise soojusvahetusprotsessiga, mida saab Mollier´i diagrammil kujutada: [15]

Veeauru osarõhkude vahe on sõltuvuses basseinivee ja basseiniruumi õhu temperatuuride vahest.



Joonis 1.2 Veeauru osarõhkude vahe sõltuvus basseinivee ja õhu temperatuuride vahest

H-x diagrammi käsitledes võib näitena siinkohal vaadelda reaalset olukorda ühes spaa- ja saunakeskuses, kus ruumiõhu temperatuur ja suhteline niiskuse võib näite jaoks valida 30 °C ja 55%. Selleks, et massivahetust veepinna ja ruumiõhu vahel ei toimuks, peaks partiaalarõhkude võrdsustumiseks veepinna tasakaalutemperatuur olema 20 °C. Kui veepinna temperatuur ja sellega seoses partiaalarõhk veepinna kohal tõuseb/langeb, siis vastavalt kulgeb massivahetusprotsess vee aurustumise/õhuniiskuse kondenseerumisena. Lihtsustatult võib mõtestada – mida kõrgem on ruumiõhu suhteline niiskus vastaval temperatuuril, seda kõrgem on ruumiõhu partiaalarõhk. Kõrgema ruumiõhu partiaalarõhu korral vastavalt veepinna temperatuurile basseinivee aurustumise intensiivsus väheneb ning basseiniruumi õhuniiskuse kondenseerumise intensiivsus suureneb.



Joonis 1.3 Olukord HX diagrammil, kus aurustumist ei toimu

1.4 Niiske õhu omadused ja oleku muutused

Kuna õhu soojusniiskuslikke parameetreid tuleb tulenevalt käsitletud nõuetest (Peatükk 1.1) hoida vastavates piirnormides, on tarvilik basseiniruumide õhuvahetus ja konditsioneerimine. Suurusjärguliseks aurustumise hindamiseks võib kasutada „rusikareeglit“ värsket õhu vooluhulka 10 m³/h ühe m² basseinpinna kohta. [7] Tegelikuses võib tulenevalt basseiniruumi atraktsioonide iseloomust ja ruumi kasutamise intensiivsusest antud väärtus suuresti erineda. Seetõttu on tarvilik olukorra detailsemaks analüüsimiseks järgida allolevaid põhimõtteid.

Suhtelise niiskuse saab teisendada absoluutseks niiskuseks järgneva seose kaudu: [16]

$$X = \frac{6,12 \cdot e^{\frac{[17,67-t]}{t+243,5}} \cdot RH \cdot 2,1674}{273,15+t} \quad 1.11$$

,kus X on absoluutne niiskus [g/m³];

t on Õhutemperatuur [°C];

RH on suhteline niiskus [%].

Õhu tihedus on pöördvõrdeline õhutemperatuuri ja suhtelise niiskusega. Ümardades võib lugeda kuiva õhu tiheduseks näiteks 20°C juures 1,2 kg/m³ ja 30°C juures 1,16 kg/m³. Õhu niiskussisaldus on absoluutse niiskuse ja õhu tiheduse suhe.

$$x = \frac{X}{\rho_{k\ddot{o}}} \quad 1.12$$

,kus x on õhu niiskussisaldus [g/kg_{kõ}];

X on absoluutne niiskus [g/m³];

$\rho_{k\ddot{o}}$ on kuiva õhu tihedus [kg_{kõ}/m³].

Niiske õhu entalpiat käsitletakse kuiva õhu ja veeauru entalpiate summana. [17]

$$h_{n\ddot{o}} = h_{k\ddot{o}} + h_{va} \quad 1.13$$

,kus $h_{n\ddot{o}}$ on niiske õhu entalpia [kJ/kg_{kõ}];

$h_{k\ddot{o}}$ on kuiva õhu entalpia [kJ/kg_{kõ}];

h_{va} on veeauru entalpia [kJ/kg_{kõ}].

Kuiva õhu entalpia sõltub kuiva õhu erisoojusest ja õhutemperatuurist. Kuiva õhu entalpia on aistingutega tajutav, tulenevalt sellest nimetatakse kuiva õhu entalpiat ka ilmseks soojuseks. [18, 17]

Õhu ilmset soojust saab leida seosest [17]:

$$h_{k\ddot{o}} = c_{k\ddot{o}} \cdot t \quad 1.14$$

,kus $h_{k\ddot{o}}$ on kuiva õhu entalpia [kJ/kg_{k \ddot{o}}]

t on õhutemperatuur [°C]

$c_{k\ddot{o}}$ on kuiva õhu masserisoojus [kJ/(kg·°C)], $c_{k\ddot{o}30^{\circ}\text{C}} = 1,006$ [kJ/(kg·°C)]

Niiske õhu entalpia ehk soojus, mis on kulunud õhus sisalduva vee aurustumiseks, sõltub järgnevatest: õhu niiskussisaldusest, vee aurustumissoojusest ja veeauru erisoojusest vastaval ruumiõhu temperatuuril. See muutub tagasi ilmseks soojuseks veeauru tagasikondenseerumisel veeks. Niiske õhu entalpiat nimetatakse ka latentseks ehk varjatud soojuseks. [19, 17]

Õhu varjatud soojust saab leida seosest [17]:

$$h_{n\ddot{o}} = (r + c_a \cdot t) \cdot \frac{x}{1000} \quad 1.15$$

,kus h_{va} on veeauru entalpia [kJ/kg_{k \ddot{o}}];

r on vee aurustussoojus [kJ/kg], $r = 2501$ [kJ/kg];

c_a on veeauru masserisoojus [kJ/(kg·°C)], $c_{a30^{\circ}\text{C}} = 1,865$ [kJ/(kg·°C)];

t on õhutemperatuur [°C];

x on õhu niiskussisaldus [g/kg_{k \ddot{o}}].

Masserisoojused hoonetes on valitud püsival atmosfäärirõhul. Tegu on isobaarse erisoojusega. Kuiva õhu masserisoojus ja veeauru masserisoojus on võrdelises seoses ruumiõhu temperatuuriga. [13]

2 ÜLEVAADE SPAA-KOMPLEKSIST, SELLE TEHNOSÜSTEEMIDEST NING MÕÕTE- JA ARVUTUSMETOODIKATEST

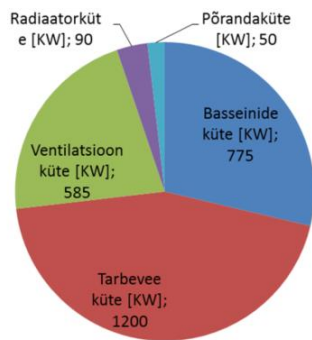
2.1 Ülevaade objektist

2018. aasta oktoobris valminud ja avatud Mustamäe Elamuste Keskus on 3980,4 m² hoonealuse pindala ja 10573,8 m² koguhuone suletud netopindalaga käesoleval aastal Eesti suurim spaa- ja vabaajakeskus. Ehitis on kolme maapealse ja ühe maa-aluse korrusega. Hoone on jaotatud neljaks eraldiseisva operaatoriga allüksuseks. Uurimustöö fookus on suunatud esimesel korrusel paiknevale spaa- ja saunakeskuse analüüsimisele.

Hoone soojusallikaks on Utilitas Tallinn AS-i kaugkütte võrk. Välispiirete soojusjuhtivused on vastavalt:

- välissein 0,20 W/ (m²°C);
- katuslagi 0,14 W/ (m²°C);
- klaasseinad, aknad ja välisüksed 1,0 W/ (m²°C);
- keldri põrand ja seinad pinnast arvestamata on arvutuslikult 0,37 W/ (m²°C).

Hoone 2. ja 3. Korrusele on paigaldatud radiaatorküte. 1. korrus on täielikult varustatud vesipõrandkütte süsteemiga, mis on projekteeritud töötama mugavusküttena. Ventilatsiooniagragaatidega on ühendatud vesi-õhk kalorifeerid. Ühtlasi köetakse 1. korrusel asuvaid basseine basseinküttega läbi toru torus tüüpi soojusvahetite, mida juhib basseinkütte automaatika. Keldrikorrusel paiknevasse soojasõlme üld soojakulu mõõtjasse on paigaldatud Modbus võrguväljund, et visualiseerida soojakulu. Projektiväliselt on lisatud soojakulu mõõtjad ka kõikide küttesüsteemide kontuuridele. Hoone on projekteeritud kogu soojuskoormusele 2,7 MW, mis ettenähtud minimaalse välisõhu temperatuuri juures on ettenähtud jaotuma vastavalt järgnevale joonisele. [20]



Joonis 2.1 Projektijärgne küttevõimsuste jaotus

Spaa- ja saunakeskus asub hoone esimesel korrusel ning on ventilatsiooniseadmete teeninduspiirkondadest tulenevat - mõtteliselt jaotatud viieks tsooniks (vastavalt SV1...SV5). Uurimustöös vaatleme ja analüüsime peamiselt basseiniseadmete (SV1...SV4) teenindustsoonides toimuvaid protsesse.

Basseiniseade SV1 teenindab esimesel korrusel „21+ ala“, kus asuvad eriotstarbelised kõrgtemperatuurised termid – teisteseas puusaun, aroomisaun, muda ja soolaruum, sanaarium ning hammam. Ühtlasi asuvad alas kõrgema temperatuuriga teraapilised 42 °C ja 10 m² jaapanibassein, 36 °C ja 11 m² mullivannid ning 33 °C ja 89 m² suur ühisbassein. Alal asuvad ka väikesed külbasseinid ja ka kalaravi bassein. Samuti on teenindustsooni soojusvahetusprotsessidega kaudselt seotud ka õues asuv 33 °C ja 6 m² välimullivann.

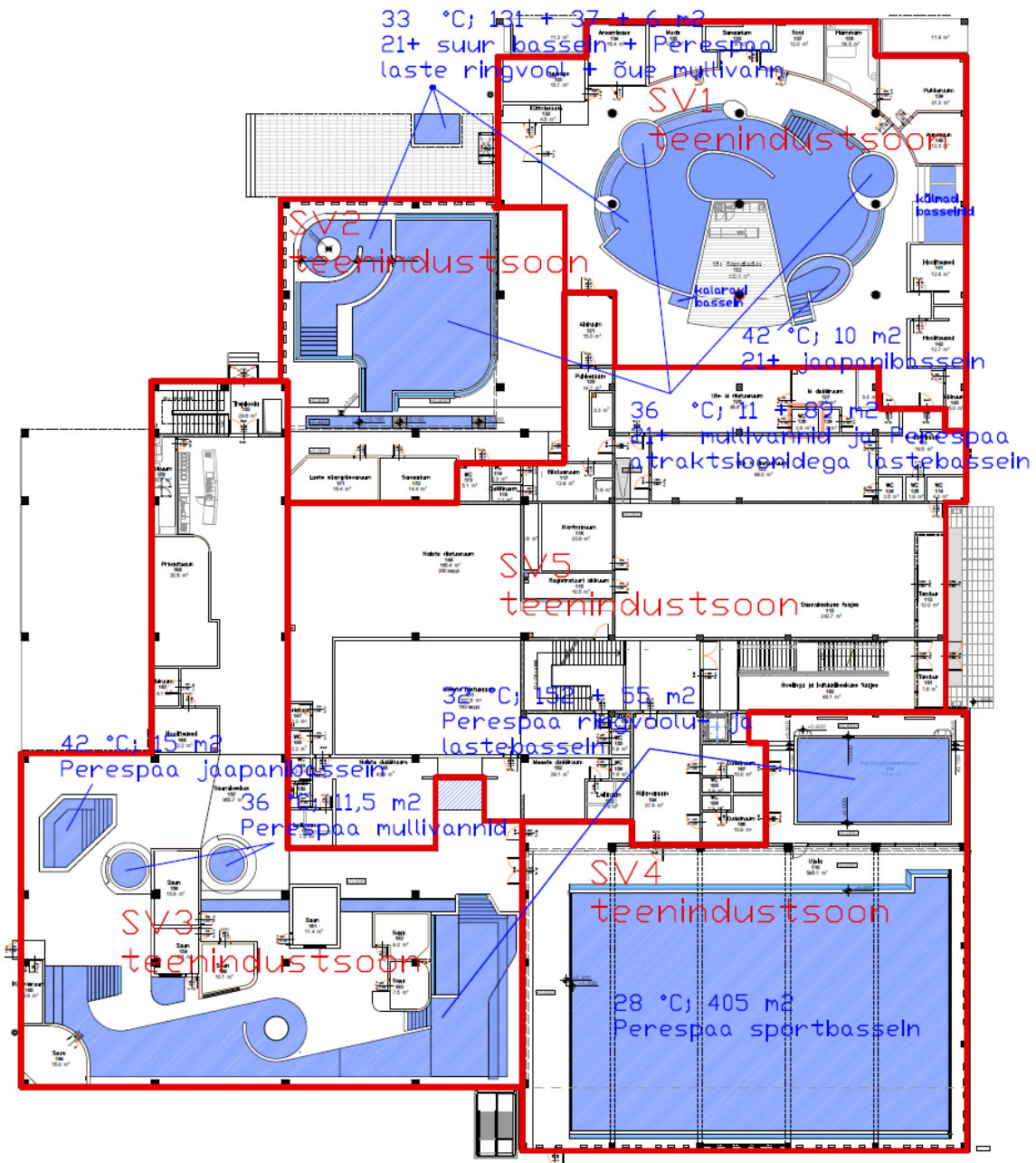
Basseiniseade SV2 teenindab „laste mänguala“, kus 33 °C ja 37 m² laste ringvoolu bassein, mis jagab balansipaaki ning on ühisel kütteringil koos eespool käsitletud „21+“ suure ühisbasseini ja õue mullivanniga. Teine bassein „laste mängualas“ on 36 °C ja 89 m² atraktsioonidega lastebassein, mis jagab balansipaaki „21+ ala“ eespool käsitletud mullivannidega. Basseini atraktsioonideks on „veeseen“ ja „veeämbەر“. Atraktsioonid pitsivad lahtiolekuaegadel õhku veejugasid, mis langevad tagasi basseinivette. Õhku piserdatud vesi osaliselt aurustub, võttes õhu ilmse soojuse arvelt faasiülekandeks vajaliku aurustumissoojuse (peatükk 1.4). Nii jahutab õhku piserdatav vesi õhku ning ühtlasi tõstab õhu niiskussisaldust.

Basseiniseade SV3 teenindab „perespaa saunakeskust“, kus asub suur hulk erinevaid kõrgtemperatuuriseid elektri- ja puuküttega saunaruume. Samuti on alal kuumkööök. Ühtlasi on teenindustsoonis 32 °C ja 152 m² ringvoolu bassein, 42 °C ja 10 m² jaapanibassein ning 36 °C ja 11,5 m² mullivannid. Ala iseloomustab suurim kasutajate arv (peatükk 2.5). Ruumi kasutajate suurem hulk viitab võimalikkusele, et ka suurem hulk vett kantakse teenindustsooni põrandapindadele, kust osa sellest samuti aurustub. Ühtlasi mõjutab intensiivne saunade küllastatusagedus teenindustsooni õhu soojuslikniiskusslikke parameetreid. Lisaks suurendab basseinide suurem

kasutusintensiivsus veepinna võbeluste ja lainetuste näol aurustusintensiivsust (peatükk 1.3).

Basseiniseade SV4 teenindab „sportbasseini ala“, kus asuvad 28 °C ja 405m² sportbassein ja väikelastele mõeldud 32 °C ja 55 m²harjutusbassein. Harjutusbassein jagab ühist balansipaaki ja kütteringi SV3 teenindustsooni ringvoolu basseiniga.

SV5 teenindab läbi mitme korruse riietus-, duši ja üldruume.



Joonis 2.2 Ventilatsiooni agregaatide teenindustsoonid ja basseinide süstemaatiline jaotus

Basseinide balansipaagid paiknevad basseinide all keldriruumides. Keldri põrand asub pinnasest 3,0 m sügavamal. Balansipaagid ja basseinid kui ka keldri põrand ja seinad on valatud betoonist. Nii

keldri põrand, seinad kui ka balansipaakide ja basseinide põhjad seisavad liivasel pinnasel ning on soojustatud 100 mm vahtpolüstüreeniga. Soojustatud ei ole basseinide ning balansipaakide ning keldri siseruumide vahelisi seinu.

Basseinide ülevoolurennidest jookseb vesi vabavoolsest balansipaakidesse, kust see pumbatakse läbi ASTRAPOOL liivafiltrite ja toru torus tüüpu küttekalorifeeride tagasi basseini. Liivafiltreid pestakse vastavalt vee mikrobioloogilistele näitajatele veeproovides. Veevahetust reguleerib Tervisekaitse nõuete määrus ujulatele, basseinidele ja veekeskustele. [21]

Filtripesu vesi suunatakse otse kanalisse. Tulenevalt basseinivee kulust - läbi filtripesu, basseinivee aurustumise ja külastajatega väljakandmise kui ka balansipaakide avariiülevoolust – langeb balansipaakides veenivoo. Balansipaake täidavad täitepumbad, mis on juhitud vastavalt balansipaagi kahele veenivoo anduri signaalile. Kui täitepumbade andur fikseerib veenivoo ujuki langemise alumise anduri kõrgusele, käivituvad täitevee pumbad. Pumbad peatuvad, kui veenivoo ujuk tõuseb ülemise anduri tasemele. [22]

Spaa- ja saunakeskust ventileerivad Dantherm DANX kliimaseadmed. Basseiniseadmed töötavad kombineeritult soojuspumba, soojustagasti ja küttekalorifeeriga. Värske õhu ja retsirkulatsiooni klapid koos soojusvahetist möödaviigu klapiga reguleerivad kütte ja jahutuse vajadust. Soojuspumba funktsioon on õhkküte ning õhu kuivatamine. Kui soojuspumba kütte pole piisav, lisandub ka järelkütte kalorifeer. Seadmed saavad töötada nii täis kui ka vähendatud õhuvoolu hulgaga (kasutusvälisel ajal). Ühtlasi on seadmetel võimekus töödada retsirkulatsiooni põhimõttel, ilma värsket õhku kasutamata kui ka osaliselt retsirkuleerides. Projektis ettenähtud seadmete õhuvooluhulgad on vastavad:

Tabel 2.1 Ventilatsiooni agregaatide projektijärgsed üldõhuvooluhulgad

	Sissepuhe [m³/h]	Väljatõmme [m³/h]
SV1	9000	9000
SV2	27000	27000
SV3	18000	18000
SV4	25560	25560

Akendega SV2 kui ka SV4 teenindustsoonis on ventilatsiooni sissepuhketorustik suunatud läbi põranda akendele, eesmärgiga vähendada sooja ja kuivema õhuga niiske õhu kondenseerumise riski kõrgema U-arvuga aknaklaasidele.

2.2 Mõõtemetoodika

2.2.1 Õhu parameetrite mõõtmine

Välisõhu ja basseiniseadme SV4 sissepuhkeõhu parameetrite mõõtmiseks kasutati kliimaandmete mõõteseadmeid T&D RTR-503/503L, mis olid mõõteperioodil 27.02.19...20.03.19 paigaldatud basseiniseadme SV4 õhuhaarde- ja sissepuhkekanalisse. Mõõdeti temperatuuri ja suhtelist õhuniiskust. Mõõteseadme täpsusklass on $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ja $\pm 5\%\text{RH}$. Kasutati mõõtevahemikku 5 minutit. [23]

Basseiniseadmete SV1...SV3 sissepuhkeõhu parameetrite mõõtmiseks kasutati mõõteseadmeid T&D RTR-576, mis olid mõõteperioodil 27.02.19...20.03.19 paigaldatud basseiniseadmete sissepuhke kanalitesse. Mõõdeti temperatuuri ja suhtelist õhuniiskust. Mõõteseadme täpsusklass on $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ja $\pm 5\%\text{RH}$. Mõõtepunktide vahe oli mõõteperioodil 1 minut. [24]

T&D wifi logerite RTR-503/503L ja RTR-576 mõõtetulemused saadeti läbi 3G mobiilsidevõrgu T&D andmepilve, kuhu oli tagatud juurdepääs läbi tootja veebikeskkonna. [25]

Basseiniseadmete SV1...SV4 teenindustsoonides üheaegselt teostatud sisekliima mõõtmisi kahel korral.

- Esmalt perioodil 27.02.19...20.03.19 Neli mõõteseadet oli paigaldatud vastavatesse viibimistsoonidesse. Mõõtepunktide vahe oli mõõteperioodil 5 minutit. Lisaks oli paigaldatud viies mõõteseadet SV4 Sissepuhkekanalisse, mille mõõtepunktide vahe mõõteperioodil oli aga 1 minut.
- Teisel korral pikemal perioodil 09.07.19...07.12.2019. Neli mõõteseadet olid paigaldatud vastavatesse viibimistsoonidesse, samadesse asukohtadesse nagu esmamõõtmisel. Mõõtepunktide vahe oli mõõteperioodil 1 tund.

Mõõtmiseks kasutati kliimaandmete mõõteseadmeid HOBO. Mõõteseadme täpsusklass on $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$ ja $\pm 2,5\%\text{RH}$. [26]

2.2.2 Vee, elektri ja küttekulu mõõtemetoodika

Hooneautomaatika süsteem võimaldab elektri, vee- ja soojuskulu pidevat arvestust. Automaatikasüsteemiga sidumiseks kaugloetavad arvestid ja võrguanalüsaatorid omavad M-bus andmesideliidest. M-bus võrgus olevaid arvestite näite loetakse läbi M-bus konverteri „Solvimus MBUS-GE80M“ hoone automaatikasüsteemi „StruxureWare“. Hoone automaatika järelvalvesüsteemiks on Schneider Electric „Smartx“ kontrolleri, kus toimub läbi kontrolleri tarkvara M-bus arvesti näitude töötlemine. Andmed on

kättesaadavad spaakeskuse serveriruumi võrguarvutist. Vee, elektri ja küttekulu logitakse serveriruumi võrguarvutisse pärast iga täistundi.

Veekulu mõõtmiseks kasutatakse M-bus anduriga varustatud Hekamerk „CDSDEVO“ veearvestit

Filtripesu veekulu 7 eraldiseisva basseinkütte süsteemi alla kuulub 13 eraldiseisvat basseini, mis erinevad pindala ja kasutusotstarbe kui ka vastava süsteemi veetemperatuuri poolest. Filtrite pesusüsteemi kraanid on käsitsi reguleeritavad ning filtrite pesemiseks tarviliku filtripesuga tegeleb spaakeskuse tehniline personal. ASTRAPOOL juhendmaterjalis on ettenähtud veekulu 5 m³ ühe filtripesu kohta. [22] Reaalses olukorras pole selle absoluutne rakendamine otstarbekas, sest basseinide suurustest ja kasutusintensiivsustest tulenevad vee näitajad erinevad süsteemide kaupa. Pesuvee kulu hindamiseks puuduvad vee kulumõõturid filtrite ja kanalisatsiooni vahel. Samas on iga basseinkütte süsteem varustatud toitevee kulumõõturiga. Filtrite pesuajad on leitavad spaakeskuse tehnilise personali veeproovide tabelist [27], kuhu märgitakse muuhulgas vastava basseinkütte süsteemi filtripesu aeg. Filtripesu toitevee kulu logiti ajavahemikus 15.02.2019...20.03.2019. Filtripesu veekulu täpsemaks hindamiseks rakendati proovipesu meetodit ja graafilist meetodit.

Proovipesu meetodit kasutati filtripesu veekulu realse suurusjärgu hindamiseks. Spaa- ja saunakeskuse keldri tehnilistes ruumides teostati perioodil 27.02.2019 23:00...28.02.2019 01:00 seitsme eraldiseisvat basseinkütte süsteemi liivafiltrite pesu. Mõõdistuse läbiviimine teostati tavapäraste veenäitajatega nii, et mõõtmistulemused kirjeldaksid võimalikult täpselt tavapärast olukorda. Eelnevalt mõõdeti kõigi seitsme basseini küttesüsteemide balansipaakide sisemõõtmel, et hinnata proovipesust tekkinud veekulu. Mõõdeti ka vastava balansipaagi veenivood enne ja pärast filtripesu, mille põhjal leiti iga süsteemi vastava filtripesu veekulu. Meetodi miinuseks on määramatus, mis tuleneb erinevate tehnikute filtripesu kraanide käsitlemisharjumusest ning veenäitajate hetkeolukorrast mõõdistushetkel.

Graafiline meetod tuleneb filtripesu logitud veekulu andmetöötlusest. Vastavalt veeproovide tabelile fikseeritud filtripesu aegu iseloomustab vastava süsteemi toitevee kulu tõusev trend filtripesule järgnevatel tundidel, kui täitub balansipaak. Ülejäänud veekulu hindamiseks, on kokku liidetud filtripesu ajale järgnenud 7 h toitevee kulu, millest on lahutatud filtripesule eelneva 7 h veekulu. Kuna balansipaagi veenivoo pole enne filtripesu teada, esineb meetodil teatav määramatus.

Indikaatorina võib arvestada 27.02.2019 23:00...28.02.2019 01:00 toimunud proovipesu mõõtetulemuse võrdlust graafilise meetodiga. Antud meetodite veekulu andmete võrdlusel oli graafilisest meetodist tulenev veekulu 1,36 korda suurem proovipesu meetodist.

Elektrienergia mõõtmiseks kasutatakse M-bus võrguväljundiga firma ABB elektriarvesteid ja võrguanalüsaatoreid.

Soojusenergia mõõtmiseks kasutatakse M-bus võrguväljundiga firma KAMSTRUP soojusarvesteid.

2.2.3 Basseiniseadmete tööparameetrite mõõtemetoodika

Käsitletavate Dantherm basseiniseadmete tööfunktsioone juhitakse vabalt programmeeritava hooneautomaatika kontrolleri Honeywell EAGLEHAWK, mis on BACnet/IP-põhine ja BACnet MS/TP-põhine. EAGLEHAWK on võimeline juhtima ja logima suurt hulka kütte, ventilatsiooni, jahutuse jt kõrval valdkondade hooneautomaatika rakendusi. Controller on käsitletud läbi standartse Eagle Web Interface kontrollplatvormi, kus käsitletavad controllerid on ühendatud ARENA AX hooneautomaatika järelvalvekeskusesse, mille asukohaks on spaakeskuse serveriruum. Ühtlasi on tagatud ligipääs läbi EAGLEHAWK Web Interface Internet veebilehitseja. Uurimustöös kasutatud basseiniseadmete tööfunktsioonide mõõteandmed pärinevad muuhulgas vastavast veebiplatvormist. [28]

Logimis-süsteemi miinuseks on piiratud ajavahemik, 48 tundi, millest pikemal perioodil kirjutatakse andmed üle. See-eest on läbi basseiniseadme kontrolleri on võimalik logida suurt hulka erinevaid tööparameetreid minutilise täpsusega, millest on uurimustöö raamistikus kasutatud järgnevaid:

- väljatõmbeõhu temperatuur (basseiniseadme viibimistsoonist);
- väljatõmbeõhu suhteline niiskus;
- väljatõmbeõhu vooluhulk;
- sissepuhkeõhu vooluhulk;
- basseiniseadme küttevajadus;
- basseiniseadme kuivatusvajadus;
- kompressori töö (ON/OFF)
- soojusvahetist möödaviiguklapi asend;
- õhuvõtu- ja väljaviske klapipaari asend;
- kuivatus- ja retsirkulatsiooni klapipaari asend;
- küttekalorifeeri ventiili avatuse asend.

Pikema perioodi mõõtmiste läbiviimiseks logiti basseiniseadmete kontrolleri andmeid ka iga 5 minuti tagant hooneautomaatika järelvalvekeskusesse:

- Väljatõmbeõhu temperatuur (basseiniseadme viibimistsoonist);
- Väljatõmbeõhu suhteline niiskus;
- Väljatõmbeõhu vooluhulk;
- Sissepuhkeõhu vooluhulk;

2.2.4 Basseiniseadmete SV1...SV3 heitõhu mõõdistused

Dantherm DanX Pool seadme tööd reguleeritakse läbi kontrolleri, kuhu sisestatakse parameetreid, mida basseiniseadmed oma teenindustsoonides tagavad. (Tabel 2.2) on välja toodud mõõdistusperioodil 19.04.19 17:00 ... 21.04.19 13:00 sisestatud tööparameetrid.

Kellaajad tulpades 13 ja 14 „kasutusaja algus“ ja „kasutusaja lõpp“ tähistavad Tulpades 6...9 saavutatavate vooluhulkade seadesuuruste režiimide perioode. Kasutusajal töötavad seadmed nominaalsetel õhuvooluhulkade ning kasutusvälisel ajal vähendatud õhuvooluhulga režiimidel.

Seadesuurused tulpades 2 ja 4 on „temperatuur“ ja „suhteline niiskus“ on väljatõmbeõhu temperatuur ja suhteline õhuniiskus väljatõmbekanalisis, mida seade saavutama peab.

Tulpades 3 ja 5 „temperatuur retsirkulatsiooniperioodil“ ja „suhteline niiskus retsirkulatsiooniperioodil“ tulenevad seadme võimekusest sisestatud perioodidel töödada ainult retsirkuleerides. Antud mõõteperioodi vältel retsirkulatsiooni režiimi ei kasutatud.

Tulbas 10 „värske õhu klapi minimaalne asend“ tähistab õhuvõtu ja väljaviske klapi paari minimaalset avatud asendit, eesmärgiga tagada basseiniseadmete teenindustsoonides piisav värske õhu hulk.

Tulpades 11 ja 12 „minimaalne sissepuhkeõhu temperatuur“ ja „maksimaalne sissepuhkeõhu temperatuur“ reguleerib väljatõmbe kanalisisest saavutatava temperatuuri põhjal sissepuhkeõhu temperatuuri. Kui õhutemperatuur vastava seadme väljatõmbekanalisis ületab Tulbas 2 seadesuurusena etteantud väärtust, hakkab seadme sissepuhkeõhu temperatuur langema. Kui õhutemperatuur on aga soovitatavast temperatuurist madalam, hakkab seadme sissepuhkeõhu temperatuur tõusma.

Tabel 2.2 Basseiniseadmete SV1...SV4 seadesuurused

Seade	1		SV1	SV2	SV3	SV4
Temperatuur	2	[°C]	29	29	30	29
Temperatuur retsirkulatsiooniperioodil	3	[°C]	29	29	30	30
Suhtelin niiskus	4	[%]	55	55	55	50
Suhteline niiskus retsirkulatsiooniperioodil	5	[%]	55	55	55	50
Sissepuhke õhuvooluhulk vähendatud õhuvooluhulgaga režiimil	6	[m ³ /h]	5200	12000	10530	19000
Sissepuhke õhuvooluhulk täieliku õhuvooluhulgaga režiimil	7	[m ³ /h]	9000	22000	16000	25000
õhuvooluhulgaga režiimil	8	[m ³ /h]	5200	12000	10530	19000
Väljatõmbe õhuvooluhulk täieliku õhuvooluhulgaga režiimil	9	[m ³ /h]	9000	22000	16000	25000
Värske õhu klapi minimaalne asend	10	[%]	50	50	50	50
Minimaalne sissepuhke temperatuur	11	[°C]	23	23	23	20
Maksimaalne sissepuhke temperatuur	12	[°C]	40	40	40	40
Kasutusaja algus	13	hh:mm	11:00; R,L 12:00	10:30	11:00	08:00; L,P 09:00
Kasutusaja lõpp	14	hh:mm	00:00; R,L 02:00	22:20	22:30	00:00; L,P 23:00

Basseiniseadmete SV1...SV3 heitõhu kambris on teostatud mõõtmised uurimaks väljaviskekanali soojuslikku potentsiaali. SV1...SV3 õhuvõtt ja väljavise toimuvad läbi 150mm EPSga isoleeritud (3*1m ristlõikega) õhuhaarde ja väljaviskekambrite. Mõõdistuste läbiviimiseks sai valitud c.a 15m sirge kanali keskpunkt.

Enne esimest mõõtmist viidi läbi mitu proovimõõdistust, et saada erinevate mõõteseadmete tulemusi võrreldes reaalselt olukorda võimalikult täpselt kirjeldavad andmed. Proovimõõdistus teostati samaaegselt seadme anemomeetriga Testo 440 ning kahe differentsiaalrõhu mõõtjaga Veris Industries differential pressure transmitter.

Differentsiaalrõhu mõõtja Pitot' toru ei võimaldanud mõõta kogurõhku 3m sügavuse kanali keskel. Teatavasti on õhu liikumiskiirus kanali seinade läheduses (tulenevalt väiksemast aerodünaamilisest takistusest) suurem. Seetõttu sai kasutatud seaded Testo 440, millega oli võimalik mõõta õhu liikumiskiirust kanali keskosas. Proovimõõdistusest järeldus, et diferentsiaalrõhu mõõtjatega mõõdetud kogu ja staatiline rõhk ning sellest tulenevalt dünaamiline rõhk ja õhu liikumise kiirus väljaviske kanali äärealal oli 1,40 korda suurem kui Testo 440 mõõdetud kiirus kanali keskel. Kuna differentsiaalrõhu mõõtjatel oli võimekus andmete pikemaajalisemaks logimiseks, ühendades need loggeriga HOBO, rakendati parandustegurit 1,40.

Pärast proovimõõtmisi viidi läbi kahe differentsiaalrõhu mõõtjaga (koos loggeriga HOBO) kogurõhu ja staatilise rõhu mõõtmised nii, et Pitot' toru asukohta ei muudetud.

Testo 440 mõõteseadme täpsusklass on: [29]

- $\pm 0,03 + 4\%$ mõõdetud tulemusest (õhu liikumiskiirusel 0...20 m/s);
- $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (temperatuurivahemikus 0...70 °C);

- $\pm 3,0\%$ RH (RH vahemikus 65...90%) ja $\pm 5,0\%$ RH (RH vahemikus $>90\%$);

Veris Industries differential pressure transmitter täpsusklass on 1%. [30]

Mõõdeti ka üheaegselt väljatõmbeõhu suhtelist niiskust, temperatuuri kui ka välisõhu temperatuuri õhuhaardemabrist mõõteseadmega HOBO (metoodika kirjeldatud peatükis 2.2.1). Nii diferentsiaalrõhkude, temperatuuri kui ka suhtelise niiskuse mõõtmisel kasutatavad HOBO loggerid olid ajaliselt sünkroniseeritud ning mõõtepunktide ajaline vahe mõõteperioodil oli 1 minut ja mõõteperioodi kestvus 48h.

Sama mõõtmist on teostatud vastavalt:

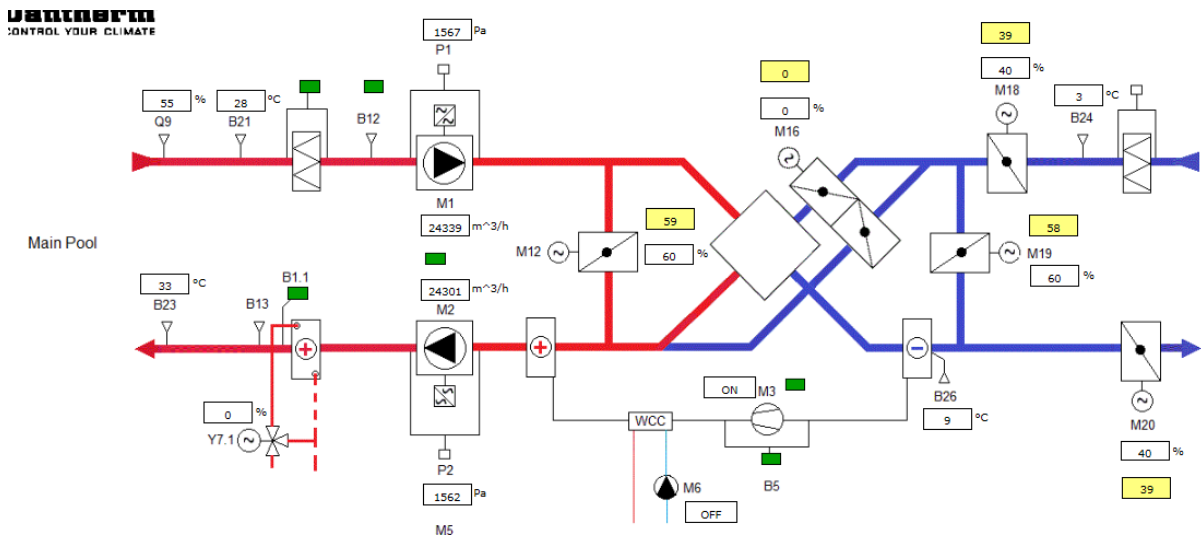
- esimene kord 19.04.2019...21.04.2019
 - välisõhu keskmine temperatuur vahemikus 3,5...15,6 °C.
 - Väljaviske õhu temperatuur oli vahemikus 17,3...24,4 °C.
 - Väljaviskeõhu niiskussisaldus kõikusvahemikus 10,7...15,8 g/kgkõ
 - Õhu suhteline niiskus oli vahemikus 69,3...95,4 %.
- teine kord 09...11.07.2019
 - välisõhu temperatuur vahemikus 5,5...18,8 °C
 - Väljaviske õhutemperatuur kõikus vahemikus 18,8...27,5 °C.
 - Väljaviskeõhu niiskussisaldus kõikus vahemikus 11,1...16,4 g/kgkõ.
 - õhu suhteline niiskus oli vahemikus 68,7...93,4 %.

2.3 Basseiniruumide õhuvahetus-ja konditsioneerimisseadmed

2.3.1 DANThERM DANX XWPS basseiniseadmete juht-ja tööpõhimõte

Töötsoonide [SV1-SV4] õhuvahetus ja konditsioneerimine toimub DANThERM DANX XWPS basseiniseadmetega. Seadmete eesmärk on tagada ruumiõhu väljatõmbe tööpunkti järgi etteantud soojusniiskuslikud sisekliima parameetrid. Antud tööpunkti põhjal toimub ka seadmetes kütte-, jahutus ja kuivatusvajaduse reguleerimine. Ettenähtud õhu parameetreid tagavad seadmes läbi soojusvahetus-, kuivatus-, kütte, ja jahutusprotsesside klapid, soojusvaheti, soojuspump ja kaugkütte kütteringist tulenev küttekalorifeer. Basseiniseadmete juht- ja tööpõhimõtetega tutvumisel on kasutatud eestkätt Dantherm Eesti maaletooja EB THERM OÜ eestvedaja Toivo Kopli konsultatsioone [31] ja juhendmaterjalie [32]; [33] kui ka DANThERM DENMARK GROUP

koolitusmaterjale. [34] Täpsemad basseiniseadme juhtpõhimõtted tulenevad seadme kontrollierist erinevate muutujate ja seadesuuruste logifailide väljavõtete analüüsimisel tehtud järeldustest (0).



Joonis 2.3 Danthermi PoolX basseiniseadme põhimõtteskeem basseiniseadme SV4 talviste tööparameetrite näitel

Basseiniseadme tööprotsessi reguleerivad seadme retsirkulatsiooni-, kuivatus-, õhuvõtu-, väljaviske- ja soojusvahetist möödaviiguklapp. Klappide asendid sõltuvad seadme teenindustsooni väljatõmbeõhu parameetritest vastava kütte- ja kuivatusvajaduse juures.

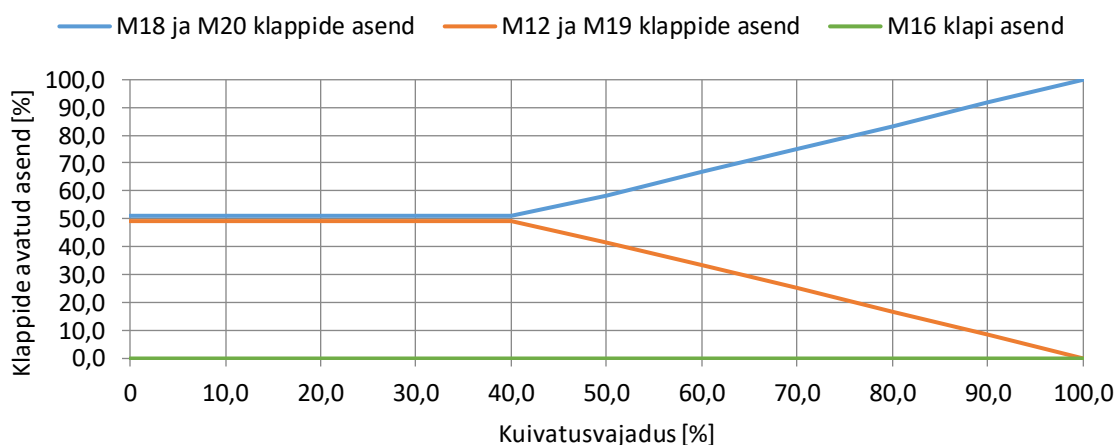
Klappide M18 ja M20 on välisõhu klapid. Nende miinimum klapi avatud asendist on antud protsentides, mis on seadmete tarnija poolt dimensioneeritud [31] tagama kasutusajal $10 \text{ m}^3/\text{m}^2$ basseinipinna kohta, olles seotud basseiniseadme teenindustsooni basseinipindade ja atraktsioonidega. Klapid on talveperioodil vaikimisi seadistatud 40 % avatud asendist ning suvisel perioodil 50%. See tähendab, värske õhu ja väljaviske klapid liiguvad tulenevalt väljatõmbeõhu parameetritest ja ettenähtud seadesuurustest vastavalt 40 või 50...100% avatud asendi vahemikus.

Klappid M19 ja M12 on vastavalt peamine retsirkulatsiooniklapp ja kuivatus/ aurustist möödaviigu klapp. Peamise retsirkulatsiooniklapi ja kuivatus retsirkulatsiooniklapi asendid on pidevalt võrdelised. Teiseks sõltub nende asend väljatõmbeõhu seadesuurustest, olles samaaegselt välisõhu klappidega pöördvõrdelises asendis. Nt välisõhu klapi 40 % avatud asendi juures on retsirkulatsiooniklappide avatud asend 60 %. Kuivatus retsirkulatsiooniklapi eripäraks on, et osa õhku suunatakse väljatõmbe poolelt enne basseiniseadet läbimist ruumi tagasi, laskmata selle läbi aurusti minna. Tervet retsirkuleeritavat õhuvooluhulka läbi aurusti suunates ei tööta soojuspump efektiivselt. [31] Selle põhjuseks on aurustile kondenseerumine - kui aurusti pinnatemperatuur tõuseb liiga kõrgeks, ei teki selle pinnale kondensaati.

Klapp M16 on soojustagastist möödaviigu klapp. Klapp sulgub kui soojustagastit on tarvis sulatada või suvistel ekstreemumitel kui soojust pole tarvis tagastada.

Tööpunkti suhtelise õhuniiskuse järgi juhtimine

- Kui õhuniiskuse tase on VT tööpunktist madalam või sellega võrdne, siis:
 - kompressor ei tööta (v.a olukord, kui samaaegselt on küttevajadusest tingitud kompressori töökäsk ehk toimub temperatuuri järgi juhtimine. Temperatuuri järgi juhtimine on basseiniseadme jaoks prioriteetsem);
 - M18 ja M20 klapid on kasutusajal avatud vastavalt (talvisel perioodil valikuliselt 40% ja suvisel 50%), et tagada minimaalne välisõhu vooluhulk.
- Kui õhuniiskuse tase on VT tööpunkti väärtusest kõrgem ehk klappide M18 ja M20 minimaalne minimaalne asend omal jõul tööpunkti ei taga, siis selle tagamiseks:
 - käivitub kompressor (v.a olukord, kui samaaegselt on küttevajadusest tingitud kompressori töökäsk seista ehk ruumiõhu temperatuur on üle seadesuuruse);
 - avanevad klapid M18 ja M20 ning sulguvad klapid M19 ja M12. Klappide asendi funktsioon ei ole otseselt seotud kompressori töötamisega. Seega ei ole klappide ja kompressori funktsioonid teineteise jaoks tarvilikud tingimused.

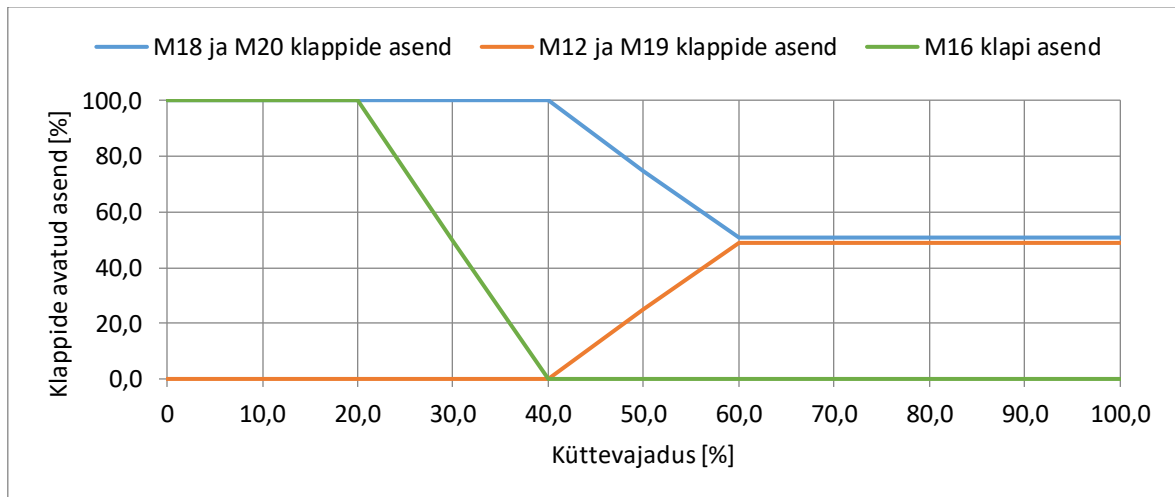


Joonis 2.4 DANThERM GROUP koolituslaidide põhjal loodud klappide asendite ja kuivatusvajaduse eeldatavat vahetava iseloomustav joonis [34]

Tööpunkti temperatuuri järgi juhtimine

- Kui ruumiõhu VT temperatuur on võrdne tööpunkti väärtusega, siis:

- küttekalorifeer ja kompressor ei tööta;
- klapid (M18) ja (M20) on kasutusajal avatud piisavalt, et tagada minimaalne välisõhu vooluhulk.
- Kui VT temperatuur on madalam tööpunkti väärtusest, siis:
 - käivitub kompressor;
 - teisena käivitub järelkütte kalorifeer, kui kompressori jõudlus pole piisav.



Joonis 2.5 DANTHERM GROUP koolituslaidide põhjal loodud klappide asendite ja küttevajaduse eeldatavat vahetava iseloomustav joonis [34]

Kasutusajal öises režiimis vähendatud õhuhulgaga kehtivad samad põhimõtted nagu päevases režiimis. Seadesuurusena on muudetud vaid üldõhuvooluhulk. Kui vähendatud vooluhulgaga režiimil ei ole tagatud väljatõmbeõhu ettenähtud seadesuurused klappide, kompressori ja järelkütte kalorifeeri tööfunktsioonidest tulenevalt, siis basseiniseade tõstab seadesuuruste saavutamiseks ventilaatori pöördeid täisõhuvooluhulgani (järeldatud tulenevalt analüüsist peatükis 0).

Retsirkulatsioonirežiimis (öisel kasutusvälisel ajal), kus välisõhu klapid on suletud, sulguvad täielikult klapid M18 ja M20 ning avanevad klapid M19 ja M12. Tegu on perioodilise režiimiga, mis nähakse ette lühikesteks - 10 minutisteks perioodideks kindel kord arv tunnis. [31] Retsirkulatsiooniperioodil ei tagata värsket õhu juurdevoolu teenindustsooni. Õhu kuivatamine toimub ilma värsket õhuta, ruumiõhu retsirkuleerimis põhimõttel kompressoriga.

Tööpunkti õhuniiskuse järgi juhtimine retsirkulatsioonirežiimis.

Kui õhuniiskuse tase on VT tööpunktist madalam või sellega võrdne, siis

- kompressor (ka soojustagastuse vajaduse korral) ei tööta. (v.a olukord, kui samaaegselt on küttevajadusest tingitud kompressori töökäsk ehk toimub

temperatuuri järgi juhtimine. Temperatuuri järgi juhtimine on basseiniseadme jaoks ka retsirkulatsioonirežiimis prioriteetsem);

- kui õhuniiskuse tase on VT tööpunkti väärtusest retsirkulatsiooniperioodil kõrgem, siis selle tagamiseks:
 - käivitus kompressor;
 - avanevad klapid M18 ja M20 ning sulguvad klapid M19 ja M12. Klappide asendi funktsioon pole retsirkulatsiooni režiimil seotud kompressori töötamisega - klappide ja kompressori funktsioonid ei ole teineteise jaoks tarvilikud tingimused.

Tööpunkti temperatuuri järgi juhtimine retsirkulatsioonirežiimis.

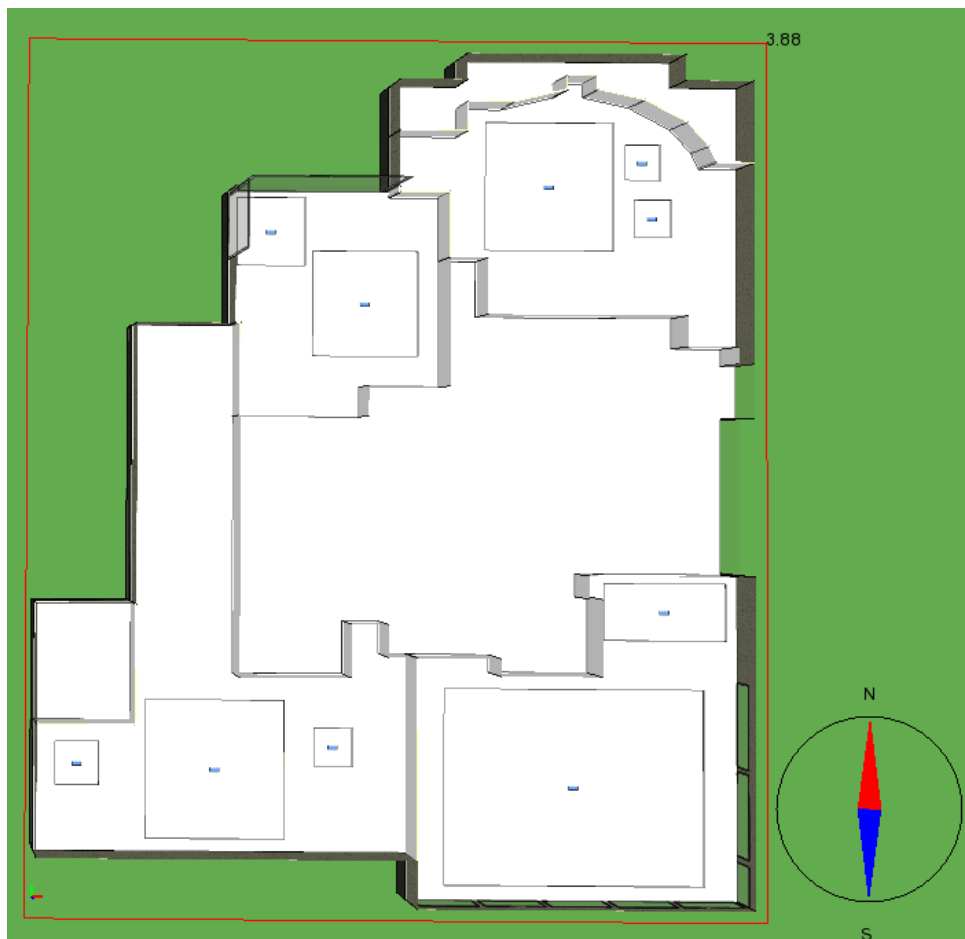
- Kui ruumiõhu VT temperatuur on võrdne või suurem tööpunkti väärtusest, siis:
 - küttekalorifeer ei tööta;
 - kompressor ei tööta.
- Kui ruumiõhu VT temperatuur on tööpunktist madalam, siis:
 - kompressor ei tööta (v.a juhul, kui samaaegselt toimub kompressoriga õhu kuivatamine);
 - töötab ruumiõhu soojendamiseks küttekalorifeer.

2.3.2 Basseinipindade simulatsioonimudel ja arvutusmetoodika

Spaakeskuses on energiabilanssi loodud tuginedes tarbimisandmete ning simulatsioonimudeli analüüsile. Mudeli koostamise eesmärk on olnud üksteisest sõltuvaid dünaamilisi soojus -, ja massivahetus protsesside iseloomu tundma õppida, mis läbi edaspidi välja tuua soojusliku jääenergia kasutatavuse potentsiaal. Selleks on olnud tarvilik kalibreerida spaakeskuse mudel. Tulenevalt mõõtetulemustest on tarvilik luua energiabilanss läbi simulatsiooni. Selle koostamisel on aluseks võetud 2019. aasta tarbimisandmed, loodud on spaakeskust kujutav simulatsioon, kuhu on mõõtetulemustele tuginedes sisestatud basseinipindadega hoonet kujutav mudel koos basseiniseadme juhtautomaatikaga.

Mudeli põhjal loodud niiskusbilansis on SV4 tsooni niiskuseraldisi mõjutavat aktiivsusefaktorit võrreldes mõõdistustulemustega 10% vähendatud, et need sobituksid kalibreeritud mudeli, hoone kogu tarbimisandmete ja ASHRAE käsiraamatus toodud väärtustega. Basseinipindade aktiivsusefaktorid on valitud tulenevalt käsiraamatus [14] toodud suurusjärgudele ning kohaldatud mõõdistustulemustega kokku sobima üldbilanssi.

Erinevate protsesside uurimiseks ja energiabilansi arvutamiseks spaakeskuses on konstrueeritud simulatsiooniprogrammis IDA ICE 4.8 arvutusmodel koos „Ice Rinks and Pools“ lisarakendusega. Arvutusmodelisse on sisse viidud lisaks üldisele hoonemudelile ka reaalse protsessi parameetritele tuginedes basseinpinnad. Samuti on esinenud olukorra täpsemaks simuleerimiseks vastava basseinruumi teenindustsooni ühistesse plokkidesse koondatud ka kõrgemate temperatuuridega saunaruumid.



Joonis 2.6 Basseiniseadmete SV1...SV4 teenindustsoonide basseinpinnad IDA ICE simulatsiooniprogrammis

Lisarakendus võimaldab soojus- ja massilevi protsesside analüüsimist basseinpinna ning basseiniseadme teenindustsooni vahel. IDA ICE kasutab arvutusmodelis aurustumise arvutamisel VDI lähenemisest (valem 1.9) pisut erinevat ASHRAE (valem 1.10) aurustumise valemist, mis aga sarnaselt VDI valemile baseerub samuti Daltoni seadusel (valem 1.8). Seega tulenevalt Daltoni seadusest on tarvilik defineerida vastavalt

- partiaalarõhk küllastunud õhus vedeliku pinnal (mis tuleneb otseselt basseini vee temperatuurist);

- veeauru partsiaalrõhk ümbritsevas õhus (mis on tingitud basseiniruumi niiskussisaldusest, tulenedes simulatsiooniprogrammis basseiniseadme juhtautomaatikast);
- hallvee massivooluhulk (mille kasutusgraafik tuleneb peatüki 3.2.1 analüüsi tulemustel)
- aktiivsusfaktor (mille kasutusgraafik valitud tulenevalt mõõtetulemustest peatükkide 2.5 ja 3.1.2 ning vastavate tarbimisandmete sobitamisel simulatsioonimudelil);
- basseini pindala ja sügavus (sügavus on seotud basseinide piirete soojusjuhtivusest tuleneva soojuskaoga).

<p>Pool heating</p> <p>Design power <input type="text" value="100000.0"/> W/m²</p> <p>Temperature Setpoint <input type="text" value="28"/> Deg-C</p> <p>Design supply water temperature <input type="text" value="29"/> Deg-C</p> <p>Control <input type="text" value="PI"/></p>	<p>Gray water</p> <p>Massflow <input type="text" value="Sportbasseini filtripesu ve"/> n.a. Kg/s</p> <p>Temperature of incoming greywater replacement water <input type="text" value="8.0"/> Deg-C</p>
<p>Pool size</p> <p>Depth <input type="text" value="3"/> m</p>	<p>Activity</p> <p>Activity factor <input type="text" value="SV4 basseini kasutusaeg"/> n.a.</p>

Joonis 2.7 Basseinipindade defineerimise valikuplatvorm

Läbi simulatsiooni „Ice Rinks and Pools“ rakenduse on võimalik koguda erinevaid andmeid, et hinnata soojus- ja massilevi ulatust ja aurustumisprotsesse. Ühtlasi on vastavaid andmeid võimalik kasutada hoone energiabilansi koostamisel. Lisaks on kogutud andmeid ilmse,- ja varjatud soojuse, niiskuserladiste hindamiseks. Ühtlasi on loodud kasutusgraafikud basseinide aurustumisteguritele jt niiskuserladistele.

Name	Value	Start	Unit	Connected to	Logged to	Description
QMOIST	-6295.0		W	ZONE.NMFZON...	Kogu varjatud soojus	Moist heat transfer.
QSURF	-22503.0		W	Pool.QWATER	Kogu ilmne + varjatud soojus	Dry and moist heat transfer to a surface
M	0.0		kg/s	ZONE.NMFZON...	[off]	Air massflow, need in link, not used, set 0
HUMF	-0.002467		kg/s	ZONE.NMFZON...	Niiskuseraldised basseinpindadelt	Humflow between surface and air node
XF	0.0		m...	ZONE.NMFZON...	[off]	Fraction moved by massflow, not used, set 0
PA	1359.0		Pa	ZONE.NMFZON...	[off]	Vapour partial pressure in zone air
TSURF	28.0		°C	ZONE.NMFZON...	[off]	Surface temp
TAIR	18.33		°C	ZONE.NMFZON...	[off]	Zone air temp
QZONE	-16208.0		W	ZONE.NMFZON...	Basseinide jahtumine läbi piirete	Heat transfer between air and wall surf
HUMAIR	0.008454		kg...	ZONE.NMFZON...	[off]	Humidity
HUMSURF	0.0293		kg...	Pool.HUMSURF	[off]	Humidity
X	720.0		m...	ZONE.NMFZON...	[off]	Fraction of zone
P	1325.0		Pa	ZONE.NMFZON...	[off]	Zone air pressure
ACTFAC	0.1		di...	<-- BUILDING...	[off]	Activity factor residential pool 0.5 <-> wavepools 1.5 (mini...
HCONV	4.0		W...		[off]	Surface film coeff
HMASS	0.003313		m/s		[off]	Moisture Surface film coeff
PW	3826.0		Pa		[off]	Vapour partial pressure at surface

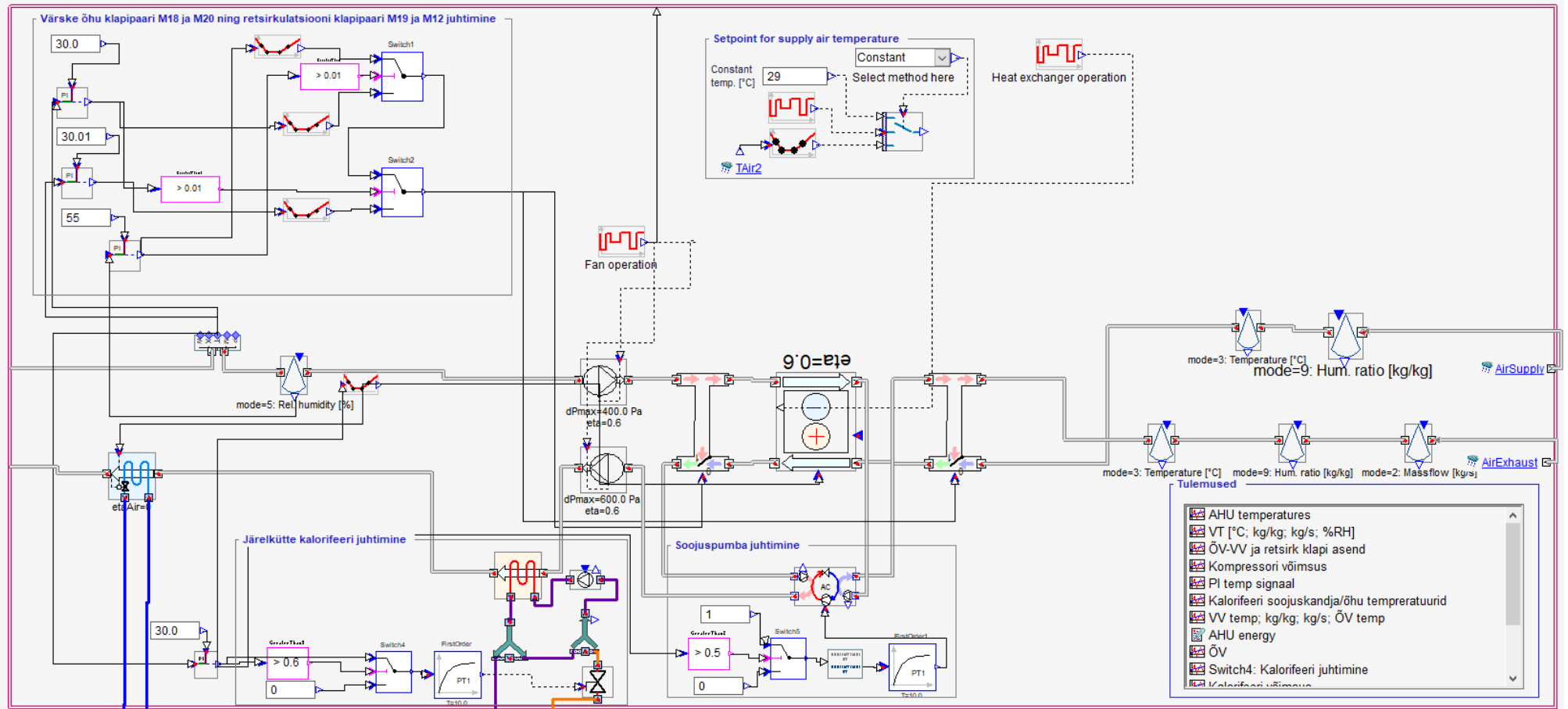
Name	Value	Start	Unit	Connected to	Logged to	Description
TWATER	28.0	28.0	°C	WatSurf.TSURF...	[off]	Temp of mass node
QBOTTOM	0.0		W	ZONE.IntFloor_...	Soojuskaod basseini põhjadest	Heat flux from bottom
QWALLS	0.0		W	<-- 0.0 W	Soojuskaod basseini seintest	Heat flux from walls
HUMSURF	0.0293		kg...	WatSurf.HUMS...	[off]	Humidity at water surface
TBOTTOM	28.0		°C	ZONE.IntFloor_...	[off]	Surf temp at bottom
TWALLS	28.0		°C		[off]	Surf temp on side walls
QWATER	-22503.0		W	WatSurf.QSURF	[off]	Heat flux from zone
HUMF	-0.002467		kg/s	WatSurf.HUMF	[off]	Humflow from the water surface
PWAT	0.0		Pa	PMTMULTIT.PO...	[off]	Water pressure
MWATER	1.0		kg/s	PMTMULTIT.MO...	[off]	Water flow [kg/s]
TWATIN	33.53		°C	PMTMULTIT.TOUT	[off]	Entering water temperature
MLOSS	0.0		kg/s	<-- BUILDING...	[off]	Grey water flow rate; water which is drained for hygieni...
QWATFLOW	23155.0		W		[off]	Heat flux from water flow
PSAT	3826.0		Pa		[off]	Saturated pressure over water surface
QLOSS	0.0		W		Soojuskaod halveest	Heat loss from grey water flow

Joonis 2.8 Basseiniseadme SV4 teenindustsoonis „Ice Rinks and Pools“ rakendusest tulenevad muutujad.

Olulisimal kohal simulatsioonimudelil on reaalselt olukorda kujutava basseiniseadme juhtloogika välja uurimine (peatükk 0) ning selle simulatsiooni sisestamine kujul, mis tuleks toime basseiniseadme protsesside simuleerimisega ning sobituks kokku ka keskuse tarbimisandmetega.

Basseiniseadme juhtimisloogika (peatükk 2.3.1) on simulatsiooni sisse viidud PI-kontrollerite abil. Kuna juhtimine toimub tulenevalt väljatõmbeõhu parameetritest, on mudelisse sisestatud vastavad andurid – õhu multiplekser temperatuuri ja sensor õhuniiskuse kontrollimiseks.

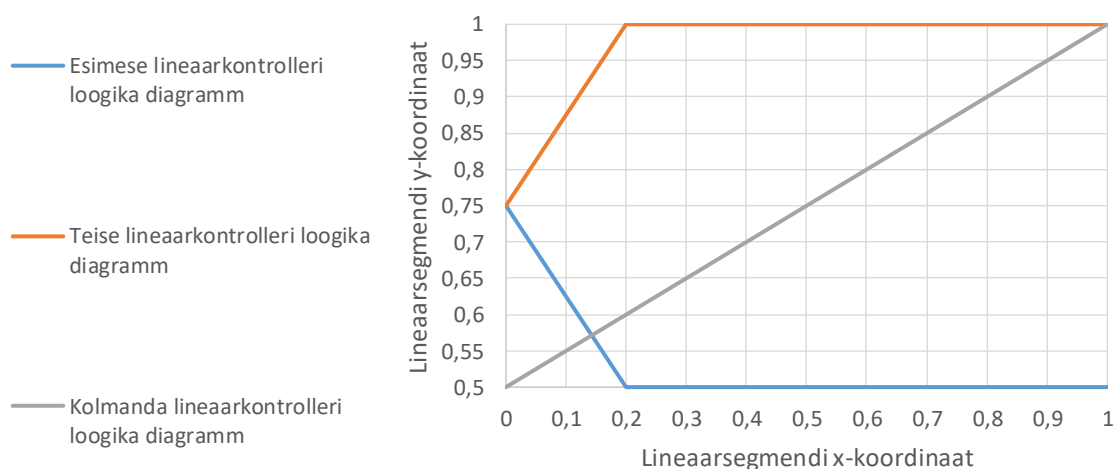
Dantherm basseiniseadme juhtautomaatika



Joonis 2.9 Basseiniseadme juhtautomaatika skeem

Klappide juhtimine. Seadesuurusena on basseiniseadme viibimistsooni ettenähtud temperatuur 30 °C ja õhu suhteline niiskus 55%.

- Esimese PI- kontrolleri (kütte juhtimistüübiga kontrolleri) jaoks on 30 °C signaali väärtus 0. Kui temperatuur hakkab langema alla 30 °C, hakkab kontrolleri signaali väärtus tõusma 0→1. PI-kontrolleri väljundsignaal (Joonis 2.10) jõuab lineaar kontrolleri (x-telg), millele vastab M18 ja M20 klapipaari avatust kujutav väärtus (y-telg).
- Teine PI-kontrolleri (jahutuse juhtimistüübiga kontrolleri) jaoks on 30,01 °C signaali väärtus 0. Kui temperatuur hakkab tõusma üle 30,01 °C hakkab kontrolleri signaali väärtus tõusma 0→1. PI-kontrolleri väljundsignaal (Joonis 2.10) jõuab lineaar kontrolleri (x-telg), millele vastab M18 ja M20 klapipaari avatust kujutav väärtus (y-telg).
- Kolmas PI-kontroller (jahutuse juhtimistüübiga kontrolleri) loeb õhu suhtelise niiskuse väärtust. Seega suhtelise niiskuse väärtus 55% puhul signaali väärtus 0 ning olukorras, kus suhteline niiskus hakkab tõusma üle 55% hakkab kontrolleri signaali väärtus tõusma 0→1.



Joonis 2.10 Esimese, teise ja kolmanda lineaarkontrolleri loogika diagramm

Basseiniseade kasutab kahte jadamisi *switch* kontrolleri töökäskude prioritseerimiseks.:

- Esimene ja kolmas kontrolleri on esmasesse *switchi* ühendatud
 - Esimese PI-kontrolleri signaali eelistatakse *by-default*.
 - Kolmanda PI-kontrolleri signaali eelistatakse kui selle signaal > 0,01.

Seega klappide juhtimises on prioriteetsem õhu suhtelise niiskuse hoidmine alla seadesuurusega toodud väärtusest 55%, kui jõudsama retsirkuleerimisega soojust ära taaskasutada.

- Esmase *switchi* signaali ja teise PI kontrolleri signaali kasutab teisene *switch*.
 - Eelistatakse eelnevalt valitud esimese või kolmanda PI-kontrolleri signaali kui esimese PI-kontrolleri signaal on $> 0,01$.
 - Vastasel juhul tuleneb signaal teisest controllerist.

Jahutusvajadusest tulenev temperatuuri seadesuurusest 30°C allpool hoidmine on eelnevatest funktsioonidest prioriteetsem.

Soojuspumba juhtimine. Soojuspumba töökäsk tuleneb samuti esimesest PI-kontrollerist. Kui esimese PI-kontrolleri signaal on $> 0,5$ toimib soojuspump ON/OFF põhimõttel.

Järelkütte kalorifeeri juhtimine. Kalorifeeri töökäsk tuleneb samuti esimesest PI-kontrollerist. Kui esimese PI-kontrolleri signaal on $> 0,6$ hakkab tööle ka järelkütte kalorifeer.

2.4 Basseiniseadmete ventilaatorite võimsuse ja soojuspumba töö mõõtmis- ja arvutusmetoodika

Tulenevalt basseiniseadmete elektritarbimise analüüsist on tarvilik arvutada välja ventilaatorite elektrienergia kasutushulk. Vastavalt hetkel kehtivale hoone energiatõhususe arvutamise metoodikale tuleneb ventilaatori elektrivõimsus oma arendatavast rõhust, õhuvooluhulgast ja kasutegurist. [35]

$$P_v = \frac{\Delta p_v \cdot V}{\eta_{ft}} \quad 2.1$$

,kus P_v on ventilaatori elektrivõimsus [W];

Δp_v on ventilaatori arendatav staatiline rõhk [Pa];

V on õhuvooluhulk [m^3/s];

η_{ft} on ventilaatori kasutegur.

Arvutustes kasutatud ventilaatori kasutegurid pärinevad vastavate basseiniseadmete väljatrükkidest, kasutatud kasutegurid on vastavalt järgnevale tabelile.

Tabel 2.3 basseiniseadmete ventilaatorite kasutegurid

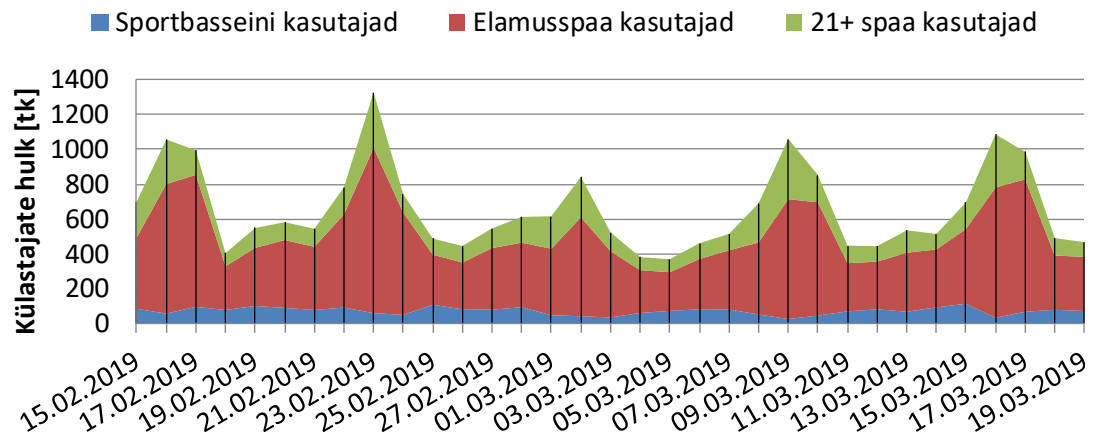
	Sissepuhke ventilaatori kasutegur η_{vt}	Väljatõmbe ventilaatori kasutegur η_{vt}
SV1	0,88	0,87
SV2	0,75	0,75
SV3	0,77	0,77
SV4	0,76	0,76

Õhuvooluhulgad ning ventilaatorite arendatavad rõhud on võetud basseiniseadmete kontrollerite seirelogidest kui ka hooneautomaatika serverist. Tulenevalt kõikuvatest õhuvooluhulkadest nii kasutusajal kui ka kasutusvälisel ajal, on olnud tarvilik mõõta rõhku kui ka ventilaatorite tootlikust iga minuti tagant. Nii sissepuhke- kui ka väljatõmbeventilaatorite võimsused on arvatud igal logitud ajahetkel. Tulenevalt elektrienergia tarbimise mõõtmisest basseiniseadmete SV1...SV3 ühisest elektrikilbist, mida logitakse iga tunni tagant, on võrreldud basseiniseadmete kogu elektrienergia tarbimist ventilaatorite elektritarbimisega. Arvatud võimsused on eraldi tulbana kokku liidetud. Eesmärgiga võrrelda ventilaatorite elektritarbimist kogutarbimisega on võetud ventilaatorite 60 minuti elektritarbimise aritmeetiline keskmine. (LISA 9)

2.5 Spaakeskuse kasutuskarakteristika

Spaakeskuse kasutussageduse hindamiseks järgnevas paragrahvides on spaakeskuse haldajalt kogutud ka piletimüügi informatsioon. Ligipääsu süsteem töötab vastavalt:

- 21+ spaa pileti ostnud kasutajad pääsevad kõikidesse spaakeskuse aladesse (SV1...SV4 teenindustsoonid)
- Elamusspaa pileti ostnud kasutajad pääsevad Perespaa aladesse (SV2...SV4 teenindustsoonid)
- Sportbasseini pileti ostnud kasutajad viibivad vaid Sportbasseini ja Laste-harjutusbasseini alal (SV4 teenindustsoon)



Joonis 2.11 Spaa- ja saunakeskuse külastajate hulk mõõdistusperioodil

Kasutuskarakteristikat on võrreldud spaakeskuse tarbevee kuluga samal perioodil. Saadud keskmine tarbevee kulu näitaja külastaja kohta on viidud sisse simulatsioonimudelisse. Loodud kasutuskarakteristika on läbi aasta kohaldatud nii, et simulatsioonimudeli tulemused ühtiksid reaalsete tarbimisandmetega.

3 ANALÜÜS

3.1 Mõõdistuste analüüs

3.1.1 Sisekliima mõõdistuste analüüs

Spaakeskuse sisekliima probleemipüstitus. Alustades osade kaupa uurimustöö objekti süsteemide ülevaastustega 2019. aasta jaanuaris, ei olnud päevakorras probleemne sisekliima. Antud esmaülevaastuste käigus eeldas uurimustöö autor, et ruumide sisekliima võib olla tuntava lämbuse tõttu probleemne, mistõttu paigaldati basseiniruumidesse temperatuuri ja suhtelist niiskust mõõtvad logerid (peatükk 2.2.1). Mõõteperioodil toimusid spaakeskuse tehnilise personali ning eriosade ehitajate ja automaatikute koostööl uue hoone eksploatatsiooniga kaasnevad süsteemide optimeerimised jm seadmete häälestamised.

Mured sisekliimaga tõusid päevakorda 2019 aasta märtsi lõpus ning haldaja pöördus murega arendaja poole. Hoone arendaja tellis niiskuskahjustuste ohu hindamiseks analüüsi [36], millega tuvastati olukord, mis oleks suure tõenäosusega pikemal muutusteta perioodil tekitanud suureulatuslikke niiskuskahjustusi Perespaa baaris, 21+ üldalal ning Sportbasseini ja riietusruumide vahelise turnikee ümbruses. Muuhulgas soovitati analüüsi kokkuvõttes spaakeskuse õhuvahetust parandada ning hoonesse tagasisuunatavat õhku täiendavalt puhastada.

Õnnestunud kokkulangevusel oli uurimustöö autoril vahetult enne sisekliima murede tekkimist teostatud eelpool mainitud sisekliima mõõtmised viibimistsoonides. Autori teostatud esimese mõõdistuse ajavahemik oli 27.02.2019...20.03.2019 (LISA 1; LISA 2; LISA 3; LISA 4). Teisel korral, kui sisekliima probleemid olid kõrvaldatud ja oht niiskuskahjustuste likvideeritud, olid mõõdistused teostatud pikemal perioodil 09.07.19...07.12.2019 (LISA 5). Järgnevates peatükkides käsitletavate basseiniseadmete teenindustsoonide mõõteperioodide vaadeldes oleks lugejal tarvilik nimetatud LISAD lugemisel kõrvale võtta.

Tähelepanu tuleb pöörata ka asjaolule, et basseiniseadmed SV1 ja SV3 olid ka varasemalt probleemsed – olles tundlikud filtrite mustumisele, toimusid täis õhuvooluhulkade juures sagedasti häired. Häires basseiniseadmed jäävad seisma, mistõttu ei saanud lasta seadmeid täis õhuvooluhulkadel töödada. Koostöös ventilatsioonisüsteemide ehitaja, seadme tarnija ja tootjaga analüüsiti seadmete häirete põhjuseid. Lõpp-kokkuvõttes järeldati, et ühist õhuvõttu ja väljaviset omavad SV1, SV2 ja SV3 tekitavad klappide dünaamika tõttu rõhu kõikumisi, mõjutades teineteise ventilaatorite sensoreid. 17.09.2019 vahetati SV1 ja SV3 seadmete kontrolleriid välja

vähemtundlikumade sätetega kontrolleri vastu. Kontrolleri vahetamisest tulenevat sisekliima muutus on graafiliselt tähendatav. Kuna samaaegselt toimusid sisekliima mõõdistused, on võimalik SV1 ja SV3 teenindustsoonis võrrelda sisekliima parameetreid enne ja pärast kontrolleri vahetust. Sisekliima mõõdistusperioodi 09.07.19...07.12.2019 tulemused toodud LISA 5. Samuti on siinkohal oluline tutvuda basseiniseadmete ettenähtud seadesuurustega (Tabel 2.2).

SV1 teenindustsoonis sisekliima mõõtmised perioodil 27.02.2019...20.03.2019. Tsoonis kõikus õhutemperatuur vahemikus 31,2...33,0 °C ja õhu niiskussisaldus 10,3...17,2 g/kg_{kõ}. Keskmine temperatuur ja õhu niiskussisaldus olid vastavalt kasutusajal 31,99 °C ja 13,04 g/kg_{kõ} ning kasutusvälisel ajal 32,19 °C ja 13,76 g/kg_{kõ}. (LISA 1).

Esmavaatlusel äratas tähelepanu kõrvalolevatest basseiniseadmete teenindustsoonidest võrdlemisi kõrgem õhutemperatuur, mille põhjuseks sai esialgu peetud kõrgemate temperatuuridega basseinide ülekaalust tulenevat iseärasust. Teisest küljest olid õhu parameetrid uuritud juhendmaterjalides (peatükk 1.1.1) lubatud piirides. Edasisel tutvumisel basseiniseadmete tööpõhimõtetega ilmnes, et SV1 on mõõdistusperioodil pidanud hoidma seadesuurusena temperatuuri 29 °C. Samaaegselt oli seadmel lubatud hoida sissepuhke temperatuuri vahemikus 29...30 °C. Danthermi maaletoojaga konsulteerides [31] ilmes, et sissepuhke temperatuurivahemikku soovitatakse aga hoida vahemikus 22...40 °C. Seega oli seadesuurusest kõrgema õhutemperatuuri üheks eeldatavaks põhjuseks mitte-ettenähtud parameetritel töötav basseiniseade.

Õhu niiskussisalduse keskmine väärtus jäi alla juhismaterjalides ettenähtud ülemise piiri 14,3 g/kg_{kõ}. Täheldati ka korduvat niiskussisalduse lühiajalist tõusu üle ülemise piiri pärast kasutusaja lõppu, mis viitab spaa- ja saunaruumide pesu aegadele. Pesu aegadel puhastatakse kõik pinnad ning avatakse saunade ukсед. Õhu suhteline niiskus on aga tugevalt madalam juhendmaterjalide soovituslikust ülemisest piirist 60%, mida aga sedastab tõsiasi, et kõrgemal temperatuuril õhku mahub rohkem niiskust. [4]

SV1 teenindustsoonis sisekliima mõõdistused perioodil 09.07.19...07.12.2019. Tsoonis kõikus õhutemperatuur enne seadme kontrolleri vahetamist perioodil 09.07.19...16.09.2019 vahemikus 29,2...33,4 °C ja õhu niiskussisaldus 11,7...25,1 g/kg_{kõ}. Perioodi keskmine temperatuur, suhteline niiskus ja õhu niiskussisaldus olid vastavalt 30,5 °C, 56,9 % ja 15,2 g/kg_{kõ}. Pärast seadme kontrolleri vahetamist perioodil 17.09.19...07.12.2019 oli õhutemperatuur vahemikus 28,9...31,4 °C ja õhu niiskussisaldus 11,2...21,6 g/kg_{kõ}. Perioodi keskmine temperatuur, suhteline niiskus ja õhu niiskussisaldus olid vastavalt 30,0 °C, 52,5 % ja 13,6 g/kg_{kõ}.(LISA 5).

Sisekliima on võrreldes kevadise mõõdistusega märkimisväärselt paranenud. Keskmine õhu temperatuur ja õhu niiskussisaldus on väga lähedal seadesuurusega ettenähtud parameetritele ning kooskõlas spaakeskuses ettenähtud sisekliima parameetritega (peatükk 1.1).

SV2 teenindustsoonis sisekliima mõõtmised perioodil 27.02.2019...20.03.2019. Tsoonis kõikus õhutemperatuur vahemikus 26,0...35,2 °C ja õhu niiskussisaldus 7,5...16,6 g/kg_{kõ}. Keskmine temperatuur ja õhu niiskussisaldus olid vastavalt kasutusajal 29,29 °C ja 14,25 g/kg_{kõ} ning kasutusvälisel ajal 28,95 °C ja 13,60 g/kg_{kõ}. [LISA2]

Kasutusvälistel aegadel, kui atraktsioonid ei tööta, õhu niiskussisaldus langeb ning õhu ilmne soojus näitab samaaegselt lühiajalist tõusvat trendi. Kasutusaaja lõppemisest tulenevale muutusele reageerib teatud viiteajaga basseiniseade, mis antud juhul ettenähtud seadesuuruseid tagades tööfunktsioone (peatükk 2.3.1) vastavalt korrigeerib.

Õhutemperatuur püsib üldjuhul basseiniseadmes seadesuurusega ettenähtud väärtusel 29 °C. Esineb lühiajalisi tõuse seoses atraktsioonide seiskumisega pärast kasutusaega.

Õhu niiskussisaldus tõusis kasutusajal sageli üle ettenähtud ülemise piiri 14,3 g/kg_{kõ}, mis oli juba esmavaatlusel murekohaks.

Mittesoovitavat olukorda, kus suhtelise niiskuse tase tõuseb üle 60% piiri on mõõdistusperioodil igapäevaselt esindatud (peatükk 1.1.1). Sarnaselt SV1 basseiniseadmele olid mitte-ettenähtud seadesuurused ka SV2 basseiniseadme juhtautomaatikas. Lisaks sissepuhkeõhu temperatuurivahemikule 29...30 °C oli tasakaalust väljas ka seadme õhuvooluhulk (Joonis 3.2).

SV2 teenindustsoonis sisekliima mõõdistused perioodil 09.07.19...07.12.2019. Tsoonis kõikus õhutemperatuur vahemikus 27,1...31,1 °C ja õhu niiskussisaldus 10,7...23,3 g/kg_{kõ}. Perioodi keskmine temperatuur ja õhu niiskussisaldus olid vastavalt 28,4 °C ja 14,2 g/kg_{kõ} (LISA 5). Sisekliima on paranenud, temperatuuri kõikumine on vähenenud. Keskmine õhu temperatuur ja õhu niiskussisaldus on väga lähedal seadesuurusega ettenähtud parameetritele ning kooskõlas spaakeskuses ettenähtud sisekliima parameetritele (peatükk 1.1).

SV3 teenindustsoonis sisekliima mõõtmised perioodil 27.02.2019...20.03.2019

SV3 teenindustsoonis kõikus õhutemperatuur vahemikus 27,7...31,0 °C ja õhu niiskussisaldus 11,6...17,1 g/kg_{kõ}. Keskmine temperatuur ja õhu niiskussisaldus olid vastavalt kasutusajal 29,19 °C ja 14,21 g/kg_{kõ} ning kasutusvälisel ajal 29,32 °C ja 14,33 g/kg_{kõ}. [LISA3]

Graafikut uurides võib tähendada, et perioodide 27.02.2019...12.03.2019 ja 12.03.2019 ... 20.03.2019 vahel on teenindustsoonis esinenud basseiniseadme tööfunktsioonide muutmine. Logisid uurides võib näiteks välja tuua, et muudetud on seadesuurust, mida basseiniseade peab oma väljatõmbekanalisis tagama. Esmalt 30 °C ruumiõhu temperatuur on langetatud 28 °C peale. 27.02.2019...20.03.2019 mõõteperioodil võib tähendada, et kasutusvälisel ajal tõuseb ruumiõhu temperatuur seadesuurusega antud temperatuurist hüppeliselt kõrgemale, mis võib viidata kasutusvälise aja vähendatud õhuhulgaga basseiniseadme režiimi suutmatusele 28 °C hoida. Sissepuhkeõhu temperatuurivahemik oli SV3 seadesuurusena aga õnnestunult ettenähtud vahemikus 22...35 °C.

Õhu niiskussisaldus SV3 teenindustsoonis oli mõõdistusperioodil kõikidest teenindustsoonidest halvimate näitajatega, olles sageli kõrgem soovitatavast suuruselt 14,3 g/kg_{kõ}. [4] Tulenedes suure tõenäosusega SV3 teenindustsooniga ühenduses oleva SV2 basseiniseadme valesti valitud tööparameetritest.

SV3 teenindustsoonis sisekliima mõõdistused perioodil 09.07.19...08.11.2019. Tsoonis kõikus õhutemperatuur enne seadme kontrolleri vahetamist perioodil 09.07.19...16.09.2019 vahemikus 28,1...31,8 °C ja õhu niiskussisaldus 12,3...22,2 g/kg_{kõ}. Perioodi keskmine temperatuur, suhteline niiskus ja õhu niiskussisaldus olid vastavalt 29,3 °C, 63,3 % ja 15,8 g/kg_{kõ}. Pärast seadme kontrolleri vahetamist perioodil 17.09.19...08.11.2019 oli õhutemperatuur vahemikus 28,7...30,7 °C ja õhu niiskussisaldus 12,9...20,4 g/kg_{kõ}. Perioodi keskmine temperatuur, suhteline niiskus ja õhu niiskussisaldus olid vastavalt 29,6 °C, 60,3 % ja 15,3 g/kg_{kõ}. (LISA 5).

Sisekliima pole võrreldes kevadise mõõdistusega esmapilgul oluliselt paranenud, keskmine niiskussisaldus on tegelikult tõusnud. See võib tuleneda asjaolust, et SV3 teenindustsooni ehk peamist spaakeskuse kasutusala teenindav basseiniseade on käesolevas olukorras sisekliima tagamiseks aladimensioonis. Kevadisel mõõtmisel on seade suutnud paremini õhu niiskussisaldust tagada, sest siis on ka välisõhu niiskussisaldus olnud madalam (LISA 6). Siiski on olukord pärast kontrolleri vahetust pisut paranenud, suhteline niiskus on keskmiselt 60,3 %, mis pole väga palju üle soovitusliku maksimummäära 60%, siiski on õhu niiskussisaldus liiga kõrge. 15,3 g/kg_{kõ}-maksimummäär peaks olema 14,3 g/kg_{kõ} (peatükk 1.1). Esmase meetmena oleks soovitatav seadme õhuvooluhulka kasutusvälisel ajal tõsta.

SV4 teenindustsoonis sisekliima mõõtmised perioodil 27.02.2019...20.03.2019. Teenindustsoonis kõikus õhutemperatuur vahemikus 26,3...28,8°C ja õhu niiskussisaldus 10,6...15,9 g/kg_{kõ}. Keskmine õhutemperatuur ja

niiskussisaldus olid vastavalt kasutusajal 28,12 °C ja 12,20 g/kg_{kõ} ning kasutusvälisel ajal 28,01 °C ja 12,04 g/kg_{kõ}.(LISA 4)

Basseiniseade SV4 töötas mõõdistusperioodil ettenähtud seadesuurustel ning õhutemperatuuri ja õhu niiskussisaldusega probleeme ei esinenud. Seevastu esines huvitav ilming perioodil 27.02.2019 ... 03.03.2019, kus õhutemperatuur ja niiskussisaldus on langenud tavapärasest madalamaks. Tegu on filtrite proovipesu veekulu mõõtmisest (peatükk 2.2.2) tingitud olukorraga - balansipaakide veekulu öisete mõõtmiste käigus jäi tehnikutel avatuks Sportbasseini puhastusfiltri kraan ning ööga valgus läbi filtri kanalisatsiooni suurusjärgus 120 m³ basseinivett, mida järgmised 2-3 päeva täideti ja soojendati. Antud anomaalia kajastub nii sportbasseini veekulu tarbimisandmetes (Joonis 3.24) kui ka ruumiõhu parameetrite andmetes. Arvestades asjaoluga, et basseini täitmisega kaasnes temperatuuri langus, mis langedes üha madalamale õhutemperatuurist, hakkas külmema pinnana õhku jahutama (peatükk 1.2.2). Ühtlasi langes veepinna vahetus läheduses õhukihi partsiaalrõhk, mis vähendas antud perioodil ka basseinpinna aurustumisintensiivsust (peatükk 1.3 ja Joonis 3.7).

Sportbasseini kohal töötavad liimpuit katusetalade kaitsmiseks on ettenähtud SystemAiri laeventilaatorid. Lõputöö raames mõõdeti sportbasseini ümber, veepinna kõrgusel, Testo 435 anemomeetriga (peatükk 2.2) , õhu liikumiskiirust. Ilmnes asjaolu, et sportbasseini riietusruumide-poolses küljes, laeventilaatorite all oli õhu liikumiskiirus vahemikus 0,5...0,6 m/s. Teistes külgedes jäi õhu liikumiskiirus alla 0,2 m/s. Liikumiskiirus basseinpinna kohal mõjutab aurustusintensiivsust. [37] Ühtlasi kehtib IDA ICE „Ice rinks and pools“ rakenduses aurustumist käsitlev arvutuskäik (valem 1.10) õhu liikumise kiirust kuni 0,15 m/s. Seega on antud ala niiskuseraldisi edasises analüüsis tarvilik läbi kasutusprofiilide, võrreldes niiskuseraldisi tarbimisandmetega, tõsta.

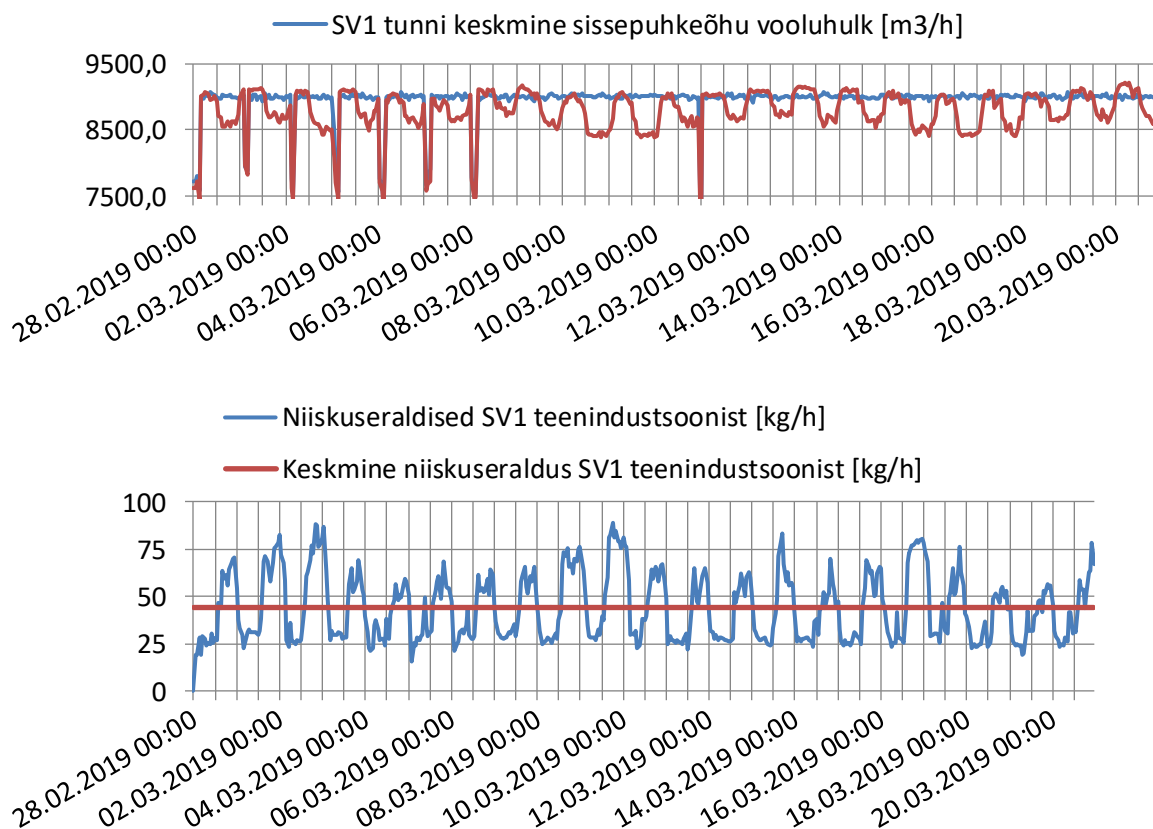
SV4 teenindustsoonis sisekliima mõõdistused perioodil 09.07.19...07.12.2019. Tsoonis kõikus õhutemperatuur vahemikus 25,8...30,9 °C ja õhu niiskussisaldus 5,5...15,2 g/kg_{kõ}. Perioodi keskmine temperatuur, suhteline niiskus ja õhu niiskussisaldus olid vastavalt 28,6 °C, 50,6 % ja 12,2 g/kg_{kõ} (LISA 5). Keskmine õhu temperatuur ja õhu niiskussisaldus on väga lähedal seadesuurusega ettenähtud parameetritele, sarnaselt kevadise mõõdistuse ajal. Küll aga on täheldatav soovituslikust 14,3 g/kg_{kõ} madalam õhu niiskussisaldus (peatükk 1.1.1), mis tuleneb ruumi haldaja soovist. Vajalikust madalam ruumiõhu niiskussisaldusega kaasneb intensiivsem aurustumine, mis sõltub vee pinna kohal olevast ja ruumiõhu partsiaalrõhkude vahest (peatükk 1.3)

3.1.2 Niiskuseraldiste mõõdistuste analüüs

SV1 õhuvooluhulgad ja niiskuseraldised perioodil 27.02.2019...20.03.2019.

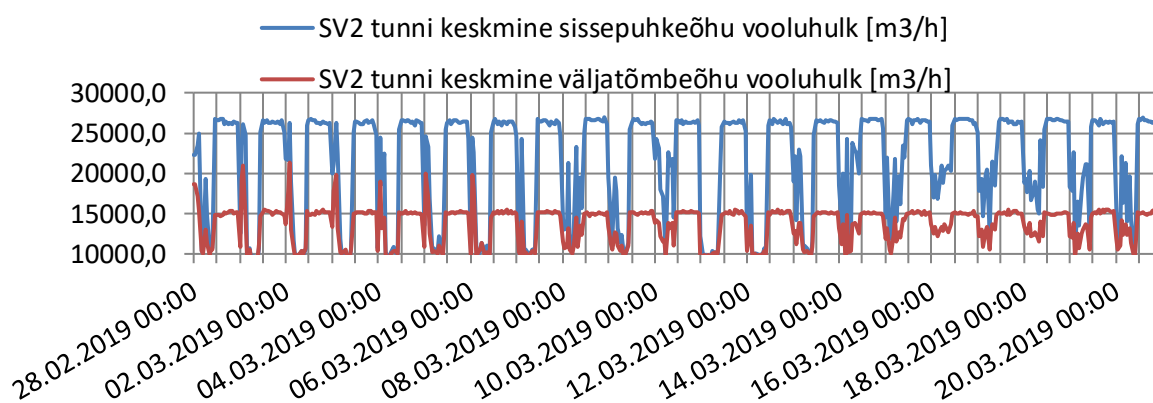
Uurides basseiniseadme sissepuhke- ja väljatõmbeõhuvooluhulkade logisid ilmes, et SV1 ventilaatorite tootlikused ei olnud (mõõdistusperioodil 27.02.2019...20.03.2019) ettenähtult tasakaalus. Kasutusajal on basseiniseadme ettenähtud sissepuhke- ja väljatõmbe õhuvooluhulk 9000 m³/h. Graafikul (Joonis 3.1) võib tähendada, et sissepuhke õhuvooluhulk oli ööpäeva ringselt kasutusajale ettenähtud seadesuurusel. Samaaegselt oli väljatõmbe õhuvooluhulk muutlik. 21+ keskuse kasutusvälisel ajal on seade töötanud vähendatud õhuvooluhulgal 8500 m³/h ning kasutusajal ettenähtud seadesuurusel 9000 m³/h. Sisekeskkonna- ja bioloogiliste riskide määramise analüüsis fikseeriti 21+ ala samuti probleemsena. Seega on ruumiõhk olnud kasutusajal ülerõhus, mis ei ole kõrge niiskussisaldusega spaakeskustes juhismaterjalides soovitatav. [4]

Mõõdetud sissepuhke (peatükk 2.2.1) ja väljatõmbeõhu (peatükk 2.2.3) parameetritest ja vooluhulkadest tulenevad niiskuseraldised õhuvahetusest olid mõõdistusperioodil vahemikus 15,7...88,7 kg/h, sõltudes suuresti kasutusajast tulenevatest aurustumist mõjutavatest teguritest. Mõõteperioodil 27.02.2019 23:00...20.03.2019 23:00 oli eraldus õhuvahetusega niiskust keskmiselt 44,1 kg/h – ehk 21 päevase mõõteperioodi jooksul eraldus SV1 teenindustsoonist õhuvahetuse teel 22,2 m³ vett.



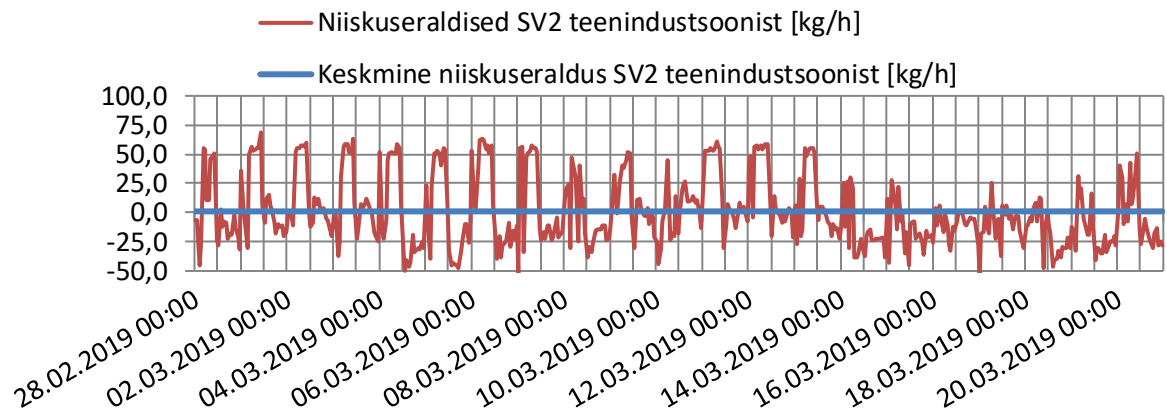
Joonis 3.1 SV1 SP ja VT õhuvooluhulk ning niiskuseraldised läbi õhuvahetuse

SV2 õhuvooluhulgad ja niiskuseraldised. Sarnaselt SV1-ga polnud eesmärgipäraselt seadistatud ka SV2 tootlikused. Kasutusajal on basseiniseadme ettenähtud sissepuhke- ja väljatõmbeõhuvooluhulk 27000 m³/h. Graafikut uurides on tähendatav, et taaskord on sissepuhke õhuvooluhulk kasutusajal töötanud ettenähtud seadesuurusel. Samaaegselt on väljatõmbe õhuvooluhulk töötanud vähendatud õhuvooluhulgal – kasutusajal 15000 m³/h. Kasutusvälisel ajal on õhuvooluhulgad olnud tasakaalus. Antud juhul on teenindustsoon olnud tugeva ülerõhu all, mis pole basseiniruumides soovitatav (peatükk 1.1.2).



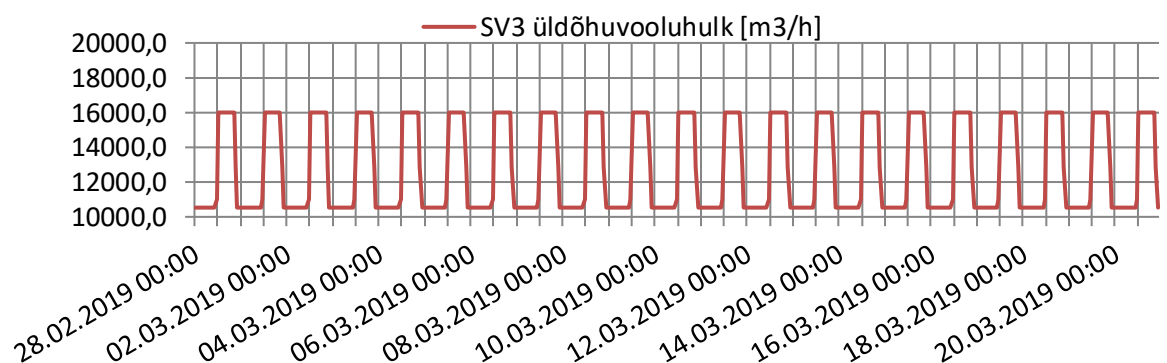
Joonis 3.2 SV2 SP ja VT õhuvooluhulk

Ülevaloleva näitena toodud sissepuhke- ja väljatõmbe õhuvooluhulkade erinevus on kajastatav õhuvahetusest tulenevates niiskuseraldistes. Antud mõõdistustest lähtuvalt on sissepuhke- ja väljatõmbeõhu parameetritest ja vooluhulkadest tuletatud niiskuseraldised õhuvahetusega keskmiselt 1,1 kg/h – ehk seade märkimisväärselt niiskust ruumiõhust ei eemaldanud. Eeldatavasti retsirkuleeris suure sissepuhke vooluhulga tõttu tasakaalust väljas olnud basseiniseade ruumist väljatõmmatud õhu koos niiskusega läbi ruumi kuivatusklaapi M12 (peatükk 2.3.1) tagasi. Eeldatavasti on antud niiskus lahkunud ruumist peasjalikult läbi SV2 teenindustsooniga ühenduses olnud basseiniseadme SV3 teenindustsooni, mõjutades ka SV3 teenindustsooni niiskussisaldust. Et hinnata potentsiaalseid niiskuseraldisi on sooritatud üldistatult arvutused samade õhu parameetrite ning võrdsustades väljatõmbe ventilaatori tootlikuse sissepuhke ventilaatori tootlikusega – vastavates tingimustes oleksid niiskuseraldised õhuvahetusega 123 kg/h ja 21 päevase mõõdistusperioodi jooksul eralduks õhuvahetusega SV2 teenindustsoonist 62 m³ vett. See suurus on aga fiktiivne, sest töötavate basseiniseadmete teenindustsooni õhu niiskussisaldus oleks märkimisväärselt madalam.



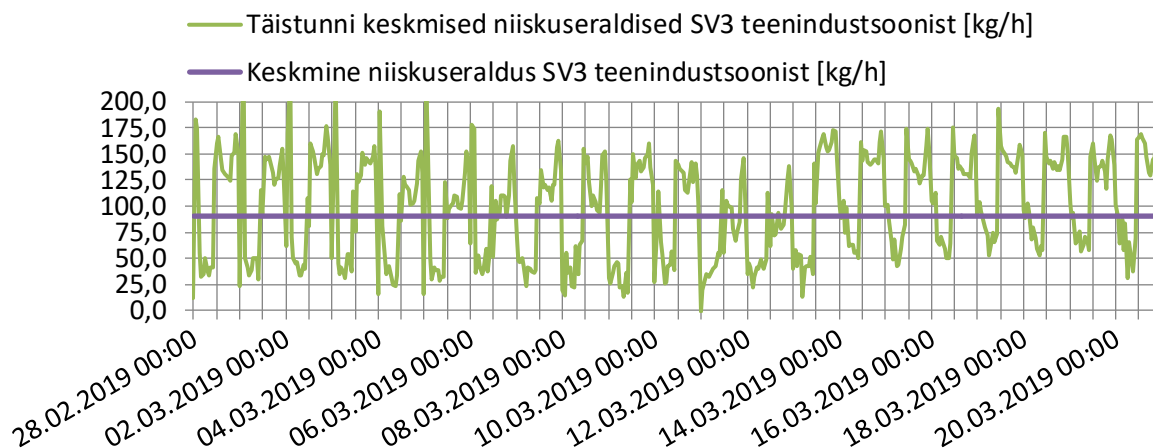
Joonis 3.3 SV2 niiskuseraldised läbi õhuvahetuse

SV3 õhuvooluhulgad ja niiskuseraldised. Andmeid analüüsid ilmnes, et SV3 õhuvooluhulka automaatikasüsteemi visualiseeringus logima pandud hooneautomaatika süsteem võttis andmeid hoopiski SV2 andmete klastrist. Antud juhul on tehtud lihtsustus õhuvooluhulkade määramisel ning arvutused tehti seadesuurusega etteantud üldõhuvooluhulkadel, mida basseiniseade mõõdistusperioodil tagama pidi. Seega on üldistades arvestatud SV3 õhuvooluhulgaks kasutusajal 16200 m³/h ja kasutusvälisel ajal 10530 m³/h.



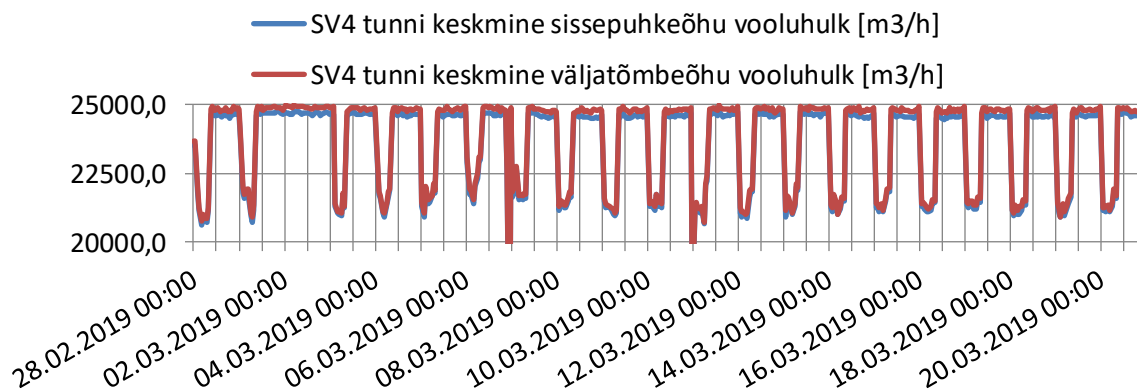
Joonis 3.4 SV3 SP ja VT õhuvooluhulk

Sissepuhke ja väljatõmbeõhu parameetritest vooluhulkadest tuletatud niiskuseraldised tulenevalt õhuvahetusest olid vahemikus 5,0...216,7 kg/h, sõltudes samuti suuresti kasutusajast tulenevatest aurustumist mõjutavatest teguritest. Mõõteperioodil 27.02.2019...20.03.2019 eraldus õhuvahetusega niiskust keskmiselt 84,6 kg/h – ehk 21 päevase mõõteperioodi jooksul 42,6 m³. Tulenevalt basseiniseadme SV2 niiskuseralduse sisulisest puudumisest, võib ruumiõhu parameetrite põhjal eeldada, et ühisel teenindusalal paikneva SV3 basseiniseadme antud niiskuseraldust võib lugeda nii SV2 kui ka SV3 teenindustsooni summaarseks niiskuseralduseks.

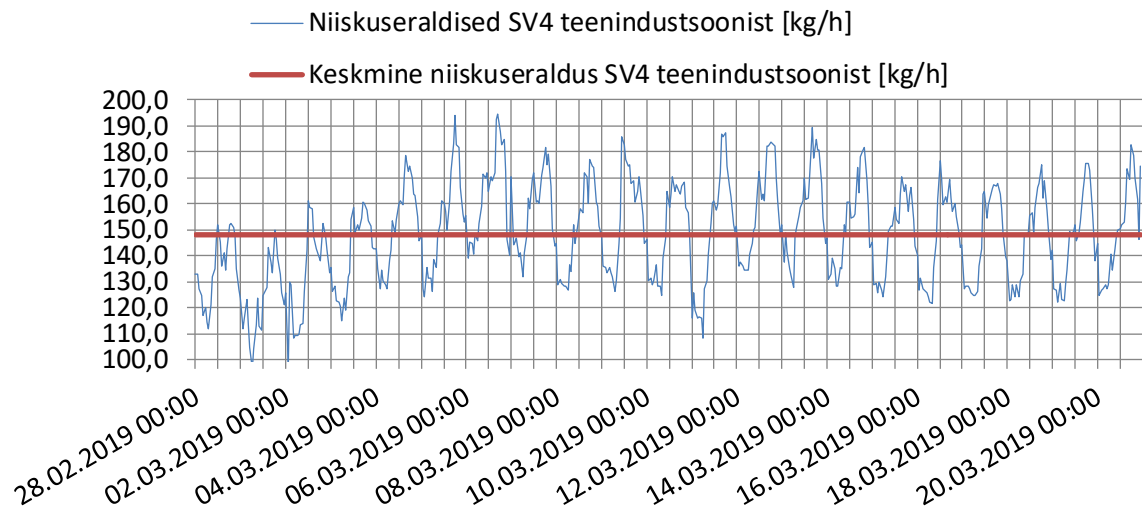


Joonis 3.5 SV3 niiskuseraldised läbi õhuvahetuse

SV4 õhuvooluhulgad ja niiskuseraldised. Basseiniseade töötas moodsusperioodil ettenähtud õhuvooluhulkadel – kasutusajal 25000 m³/h ja kasutusvälisel ajal 19000 m³/h. Sisepuhke- ja väljatõmbeõhu parameetritest ning vooluhulkadest tuletatud niiskuseraldised tulenevalt õhuvahetusest olid kasutusvälisel ajal keskmiselt 133,0 kg/h ja kasutusajal vastavalt 160,9 kg/h. Mõõteperioodil 27.02.2019 23:00...20.03.2019 23:00 oli eraldus õhuvahetusega niiskust keskmiselt 148,1 kg/h – ehk 21 päevase mõõteperioodi jooksul 74,6 m³.



Joonis 3.6 SV4 SP ja VT õhuvooluhulk



Joonis 3.7 SV4 niiskuseraldised läbi õhuvahetuse

3.1.3 Sisekliima ja basseiniseadmete õhuvooluhulkade analüüsist tulenevad soovitused ning analüüsi kokkuvõte

Sisestada SV1 kontrolleritesse ettenähtud sissepuhkeõhu temperatuuri vahemik 22...40 °C ja tasakaalustada (olenemata kasutus- või kasutusvälisest ajast) sissepuhke- ja väljatõmbeõhu vooluhulk. Kasutusvälisel ajal ülerõhus olev basseiniruum ohustab konstruktsioone ning tõstab niiskuskonvektsiooni riski.

Niiskuseraldisi uurimine ei anna valesti seadistatud õhuvooluhulkade tõttu SV1 ja SV3 teenindustsoonis aasta ringi kujutatavat pilti. Küll aga võib tähendada, millised on niiskuseraldised vähendatud õhuvooluhulgaga kasutusvälisel režiimil, kui õhuvooluhulgad on tasakaalus. Samuti kinnitab mõttekäiku SV2 ruumiõhu niiskussisalduse graafik (LISA 2), et kasutusvälisel ajal langes niiskussisaldus märgatavalt alla 14,3 g/kg_{kõ}. Järelikult oli vähendatud õhuvooluhulga režiim SV2 10 000 m³/h ja SV3 10530 m³/h selleks muutuseks piisav, olenemata sellest, et kasutusajal on ruumiõhu parameetrid olnud üle ettenähtud piiride.

Basseiniseade SV4 on töötanud ettenähtud sissepuhkeõhu temperatuurivahemikus ja õhuvooluhulgal. Seega on antud mõõtmiseid võimalik käsitleda aastaringset olukorda kirjeldavateks. SV4 teenindustsoon on ruumiõhu parameetrite poolt kõige madalama õhu siiskussisaldusega – keskmiselt 12,1 g/kg_{kõ}. Õhu parameetrite olulist muutust kasutus- ja kasutusvälisel ajal pole tähendada. Küll muutuvad niiskuseraldised õhuvahetusega kasutus- ja kasutusvälistel aegadel. Seega on õhuvooluhulkade vahetuse kasutus- ja kasutusvälisel ajal õiges vahekorras, et viibimistsoonis oleks konstantne õhu niiskussisaldus. SV4 teenindustsoonis oleks võimalik tõsta suhtelist niiskust. Antud juhul on basseiniseadme seadesuuruseks määratud 50% õhuniiskus, mis tuleneb spaakeskuse haldaja soovist. SystemAiri laeventilaatorid tekitavad

kasutusajal lisa niiskuseraldisi. Soovitatav on läbi viia täiendavad mõõtmised olukorra hindamiseks. Teada aga on, et ventilaatorid töötavad kasutusajal. SV4 viibimistsooni täiendavast analüüsist võib välja tuua üldistava indikaatori, et niiskuseraldised kasutusajal on keskmiselt 160,9 kg/h ja kasutusvälisel ajal 133,0 kg/h samas tuleb arvestada, et kasutusajal mõjutab aurustumist ka kasutusaktiivsuse faktor.

Basseiniseadmete teenindustsoonide niiskuseraldust saab mõõteperioodil analüüsida lähtuvalt keskmistest niiskuseraldistest. Tuleb silmas pidada, et tulenevalt basseiniseadme SV2 sissepuhke- ja väljatõmbe õhuvooluhulkade suurest kõrvalekaldest ettenähtud seadesuuruse väärtusest, lahkus määrav osa niiskusest läbi SV2 teenindustsooniga ühenduses oleva SV3 teenindustsooni õhuvahetuse. Kuna SV2 ja SV3 viibimistsoonid asuvad ühtlasi ühenduses olevas alas, käsitleme nende niiskuseraldisi lihtsustatult – summaarsena. Õhuvahetusest tulenevad niiskuseraldised vastavalt käsitletavatele teenindustsoonidele jaotusid mõõdistusperioodil vastavalt:

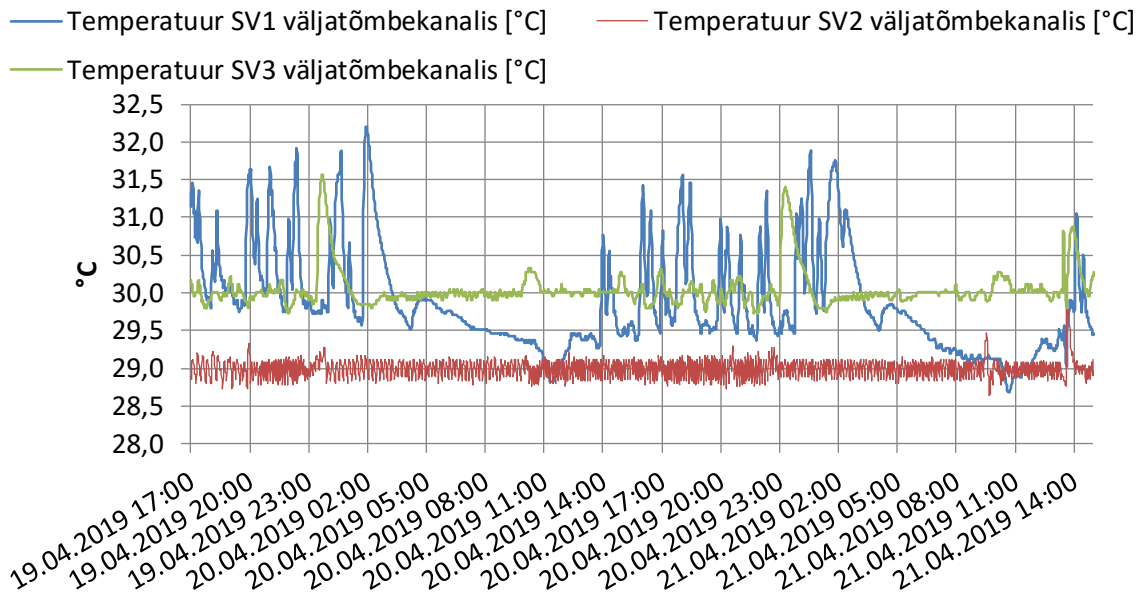
- Basseiniseadme SV1 teenindustsoonis 44 kg/h
- Basseiniseadmete SV2 ja SV3 teenindustsoonides vastavalt 1,1 kg/h + 84,6 kg/h = 85,7 kg/h
- Basseiniseadmete SV2 ja SV3 teenindustsoonides kasutusvälisel ajal c.a 75 kg/h
- Basseiniseadme SV4 teenindustsoonis 148,1 kg/h

Basseiniseadmete SV1...SV4 teenindustsoonides kogu niiskuseraldus läbi õhuvahetuse oli mõõdistusperioodil seega keskmiselt 0,077 kg/s. Tuginedes 2019. aasta keskmisele basseinide täitevee kulule 0,454 kg/s (3.2.1), moodustab aurustumine sellest 16,96 %.

3.1.4 Basseiniseadmete SV1...SV3 tööfunktsioonide analüüs mõõtetulemuste alusel

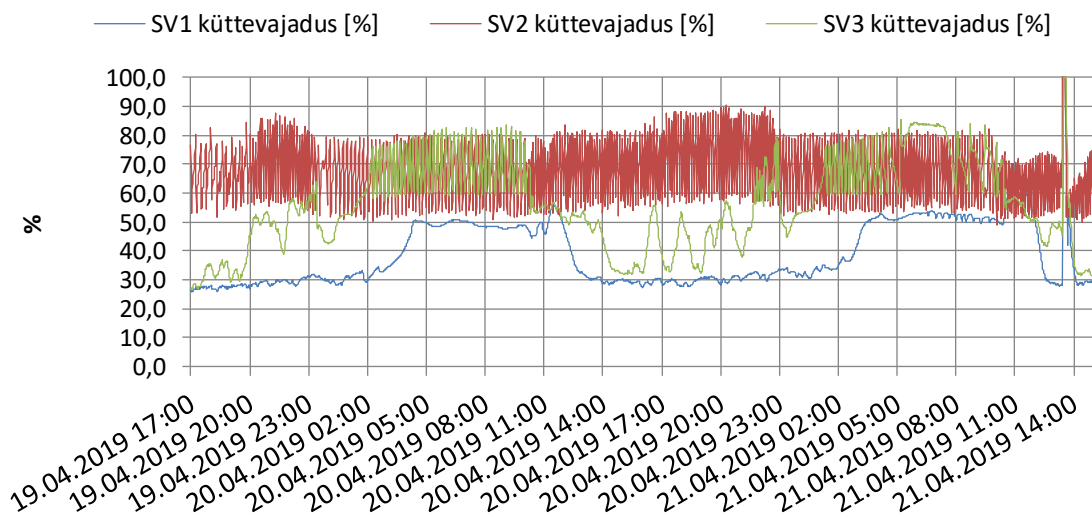
Perioodil 19.04.19 17:00 ... 21.04.19 13:00 toimunud mõõtemetoodika (peatükk 2.2.3) põhjal on koostatud basseiniseadmete SV1...SV3 tööfunktsioonide analüüs. Antud mõõteperioodil töötasid basseiniseadmed ettenähtud ja tasakaalus õhuvooluhulkadel (Tabel 2.2).

Seadesuurusena ettenähtud ruumiõhu temperatuurist tulenevalt toimub küttevajaduse määramine. Analüüsi aluseks on basseiniseadme väljatõmbeõhu temperatuurist ja basseiniseadme kontrollierist logitud küttevajaduse määrast koostatud graafikud.



Joonis 3.8 Õhutemperatuur basseiniseadmete SV1...SV3 teenindustsoonide väljatõmbekanalites
Temperatuur oli basseiniseadmete väljatõmbekanalites üksteisest küllaltki erineva karakteristikaga.

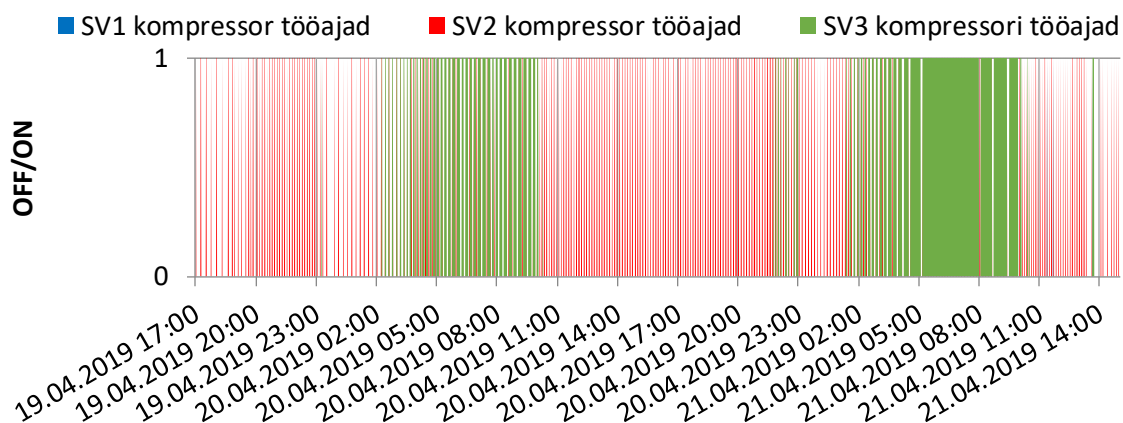
Võib tähendada, et SV1 ja SV3 teenindustsoonide kasutusaja lõpus, kui lülitatakse välja saunad ning avatakse saunade uksed pesuks, temperatuur tõuseb hüppeliselt ning langeb seejärel, stabiliseerudes.



Joonis 3.9 Basseiniseadmete SV1...SV3 küttevajadused

Küttevajadus on funktsioonina temperatuuriga seotud, aga ei tulene ainult sellest. Mõõtmisandmeid võrreldes saab tähendada, et kindlal temperatuuri erinevusele seadesuurusest ei vasta kindel küttevajadus. Lisaks arvestab küttevajaduse funktsioon eelnevate minutite küttevajadust.

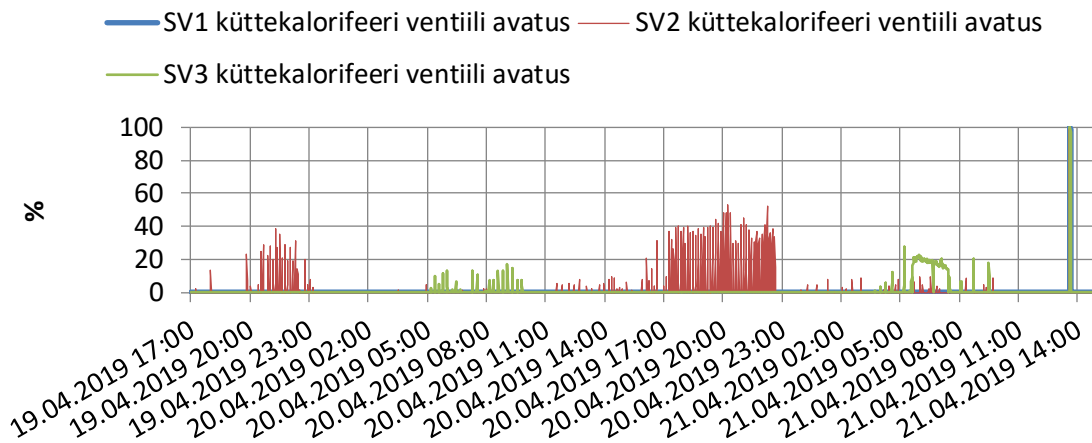
Soojuspumba töötamine on otseselt seotud küttevajadusega. Soojuspumba kompressori töökäsu eelduseks on küttevajadus $\geq 50\%$. Kompressoriga toimub ka läbi aurustile kondenseerumise retsirkuleeritava õhu kuivatamine. Kuivatamine pole aga seotud õhu niiskussisaldusega, vaid kaasneb küttefunktsiooniga. SV1 tsoonis esineb moodsusteperioodil kompressori tööd harva. SV2 kompressor töötab sagedasti, olenemata kellaajast. SV3 kompressor töötab kasutusvälisel ajal, kui saunad on välja lülitatud.



Joonis 3.10 Basseiniseadmete SV1...SV3 kompressorite tööajad 19.04...21.04.19 mõõteperioodil

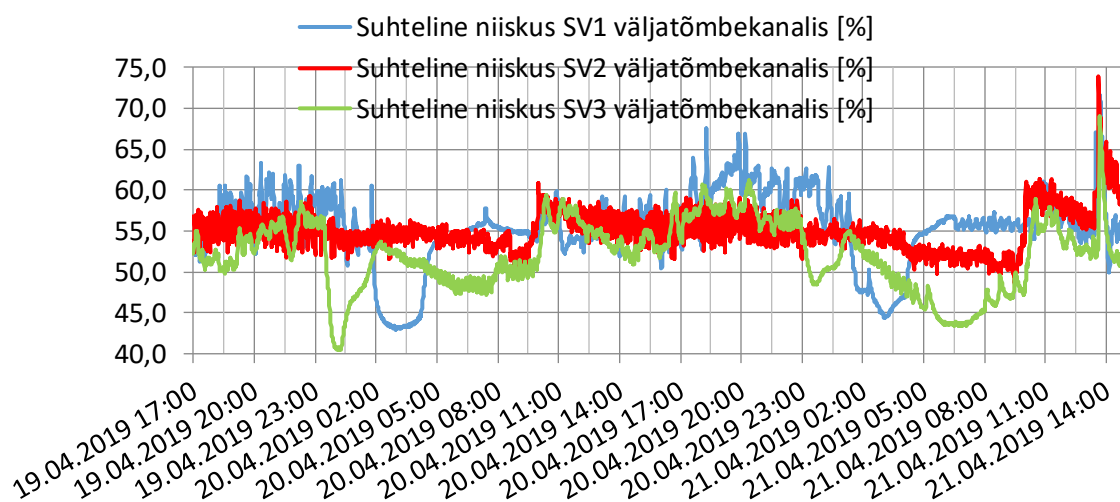
Kompressori „ON/OFF“ töötsükli iseärasusest tulenevalt ei ole kompressor soojusvahetusprotsessi pidevalt kaasatud. Logiandmetest väljendub, et kompressor pikim „ON“ tsükkel oli 10 minutit, millele järgnes sama pikk „OFF“ tsükkel. Olenemata küttevajadusest töötas kompressor samade töötsükklitega. Töötsükli sai 10 minutist lühendada vaid küttevajaduse kukkumine alla 50% piiri.

Järeלקütte kalorifeeri teenindav ventiil hakkab avanema, kui küttevajadus tõuseb $\geq 80\%$. Iga lisanduv küttevajaduse 1% avab kalorifeeri teenindavat ventiili 5% võrra. Kalorifeer töötab täisvõimsusel seega 100% küttevajaduse juures.



Joonis 3.11 Basseiniseadmete SV1...SV3 vesiküttekalorifeeri avatus

Suhteline niiskus basseiniseadmete väljatõmbekanalites on mõõdistusperioodil olnud tähelepanuväärselt kõikuva karakteristikaga. Seadesuurusena oli mõõdistusperioodil basseiniseadmetel SV1...SV3 ettenähtud hoida suhtelist niiskust 55% ümbruses (Tabel 2.2). Alla ettenähtud seadesuuruse intensiivistuvad aurustumisprotsessid, mis suurendavad basseinkütte osakaalu. Samas oli oluline üle 60% suhtelise niiskusega olukorda vältida, et vähendada niiskuskahjustuste tekke ohtu (peatükk 1.1.1).

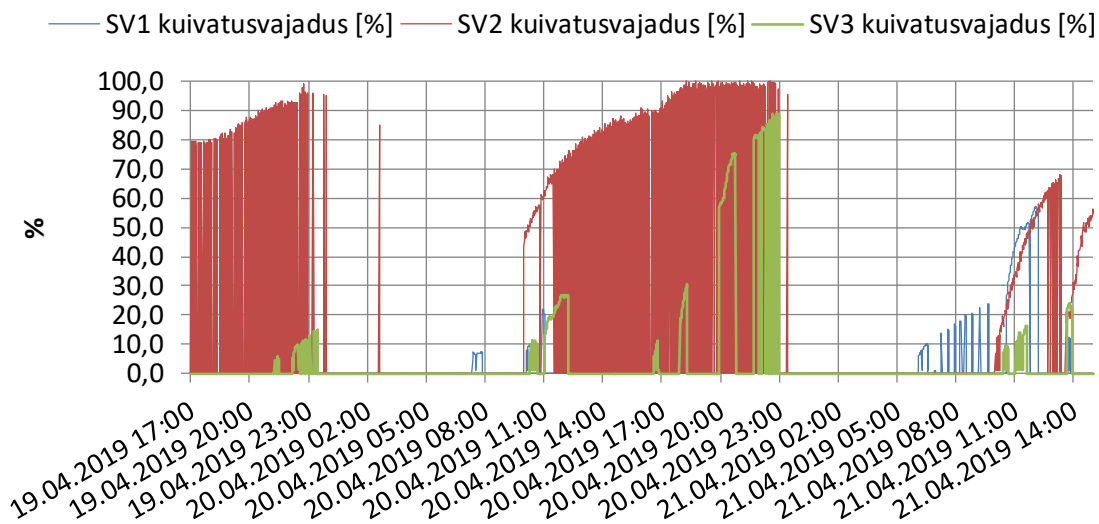


Joonis 3.12 Suhteline niiskus basseiniseadmete SV1...SV3 teenindustsoonide väljatõmbekanalites

Kuivatusvajadus ei sobitu ruumiõhu suhtelise niiskuse graafikuga esmapilgul täielikult kokku. Näiteks SV1 teenindustsoonis ajaperioodil 17:00...23:00 20.04.19 kuivatusvajadus puudub, kuigi suhteline niiskus on tugevalt üle seadesuuruse. Küttevajaduse graafikut (Joonis 3.9) kuivatusvajadusega võrreldes võib järeldada, et seadesuurusest kõrgemast temperatuurist tulenev jahutusvajadus tühistab kuivatusvajaduse. Seega, kuivatusvajadus eksisteerib juhul, kui küttevajadus on üle

50% ning suhteline õhuniiskus on üle ettenähtud seadesuuruse. Sarnaselt küttevajadusele on kuivatusvajadus 50% seotud ettenähtud suhtelise niiskuse seadesuurusega.

Jahutusvajaduseks defineerime olukorra, kui küttevajadus on < 50%.

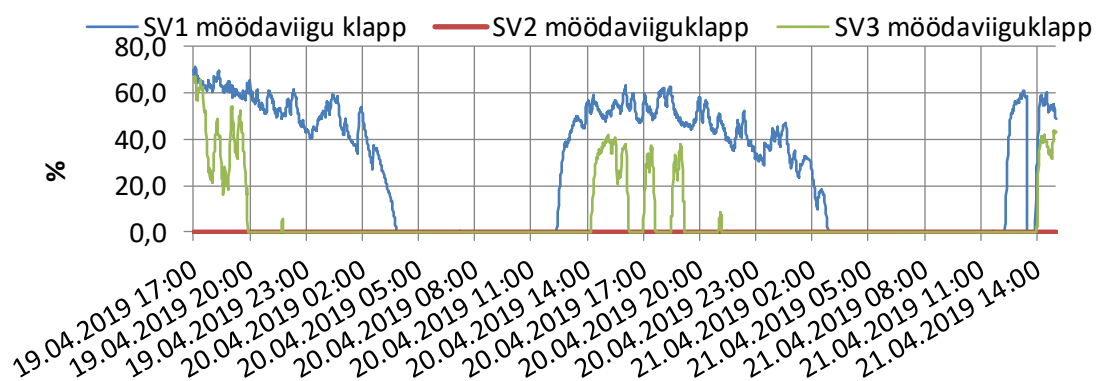


Joonis 3.13 Basseiniseadmete SV1...SV3 kuivatusvajadused

Klappide tööfunktsioonid

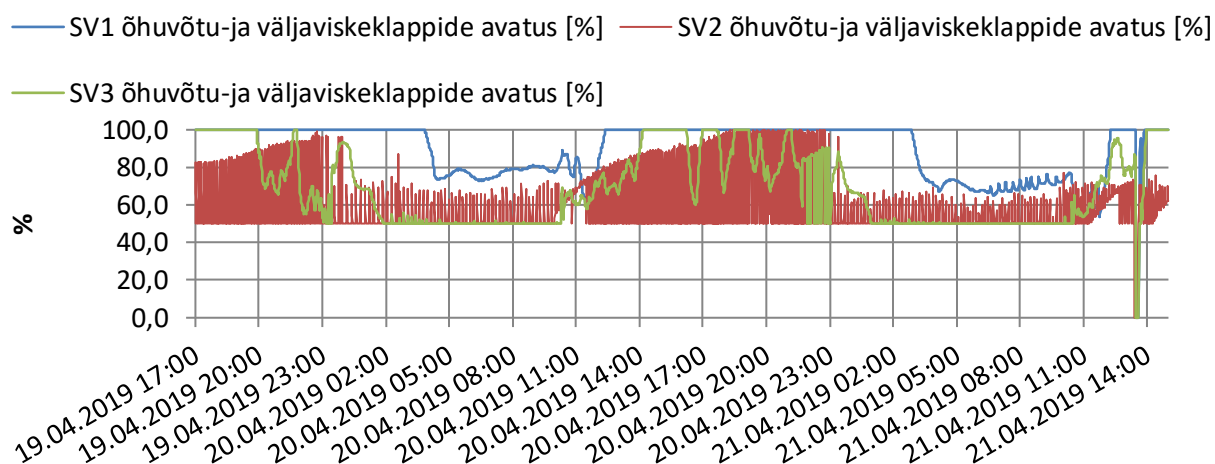
Basseiniseadmete on kokku 5 klappi (vt. Joonis 2.3). Õhuvõtu klapp (edaspidi M18) ja heitõhu väljaviske klapp (edaspidi M20), aurustist möödaviigu ehk kuivatusklapp (edaspidi M12) ja retsirkulatsiooniklapp (edaspidi M19) ning soojusvahetist möödaviiguklapi (M16).

M16 klapi asend on jahutusvajadusega võrdelises seoses. Klapp hakkab avanema, kui küttevajadus langeb < 40%. Iga väheneva küttevajaduse 1% avaneb klapp 5% võrra. Seega on klapp 100% avatud 20% küttevajaduse juures.



Joonis 3.14 Basseiniseadmete SV1...SV3 soojusvahetist möödaviiguklapi avatused möödistusperioodil

Värske õhu klappipaar M18 ja M20 töötavad sünkroonis ning samaaegselt pöördvõrdeliselt retsirkulatsiooni klappipaariga M12 ja M19. Näitena võib välja tuua, et kui värske õhu klappipaar on asendis 85%, on retsirkulatsiooni klappipaar avatud 15%. Kui värske õhu klappipaar on avatud 50%, on retsirkulatsiooni klappipaar avatud 50% jne. Kuna retsirkulatsiooni klappipaari asend sõltub värske õhu klappipaarist ja vastupidi, kujutame graafiliselt vaid värske õhu klappipaari asendeid – retsirkulatsiooni klappipaari graafik oleks ju kõigest hoolimata graafiliselt selle peegelpilt.



Joonis 3.15 Basseiniseadmete SV1...SV3 õhuvõtu- ja väljaviskeklappide avatud asendid

Antud mõõdistusperioodiks oli iseloomulikult suveperioodile värske õhu klapi minimaalselt avatud asendiks seadesuurustes määratud 50%. Sisuliselt tähendab see, et klapid M18 ja M20 on mõlemad sünkroonselt vähemalt 50% avatud ja klappide paar M12 ja M19 on mõlemad avatud 50% või vähem.

Mõõtmisandmeid uurides võib ühtekokku järeldada, et värske õhu ja retsirkulatsiooni klappipaarid on juhitud läbi 3 erineva funktsiooni.

- Küttevajadus
- Kuivatusvajadus
- Jahutusvajadus

Küttevajadusel 50...100% juhitud klapid kütte ja kuivatusvajadusest tulenevast juhtimisest. Küttevajadusel 50% on värske õhu klappipaari avatuseks 75%, mis hakkab küttevajaduse tõustes sulguma. 60% küttevajaduse juures on klapp minimaalselt avatud asendis 50%, säilitades sama asendi ka küttevajaduse tõusmisel 60...100 % vahemikus.

Kui küttevajadusel 50...100 % eksisteerib samaaegselt kuivatusvajadus, ehk suhteline õhuniiskus on üle ettenähtud seadesuuruse, juhitud värske õhu klapid kuivatusvajadusest tulenevast juhtimisest. Kuivatusvajaduse ja klappide asendi seos on

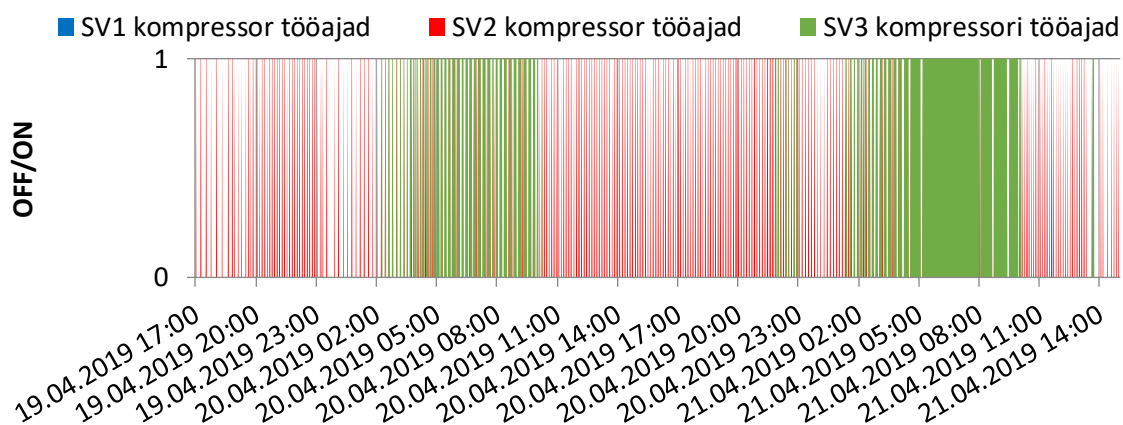
lineaarne. Kuivatusvajadusel 50% on värske õhu klapi paari asend 50% ning kuivatusvajadusel 100% klapi paari asend 100%.

Kui aga küttevajadus on vahemikus 0...50 % juhivad värske õhu klapi jahutusvajadusest. Küttevajadusel 50% on värske õhu klapi paari avatuseks 75%, mis hakkab küttevajaduse langedes avanema. 40% küttevajaduse juures on klapp maksimaalselt avatud asendis 100%, säilitades sama asendi ka küttevajaduse langemisel 40...0 % vahemikus.

Seadmete energiatarve

Basseiniseadmed SV1, SV2 ja SV3 kasutavad kütteks nii elektrienergiat kui ka küttekalorifeeriga kaugküttest tulenevat soojusenergiat.

Basseiniseadmed saavad elektrienergiat ühisest kilbist. Seireandmetest tulenevalt saab kolme seadme elektrienergia kogutarbimist visualiseerida iga tunni tagant (peatükk 2.2.2). Kolme basseiniseadme keskmine elektriline võimsus mõõteperioodil 19.04.2019 16:50 ... 21.04.2019 15:00 oli 45,9 KW. Elektri koguvõimsus varieerub 22...101 KW vahel. Graafikut uurides on tähendatav, et öine elektritarbimine on väheneva tendentsiga. Ühtlasi on näha mõningaid sarnasusi kompressorite töösüklite (

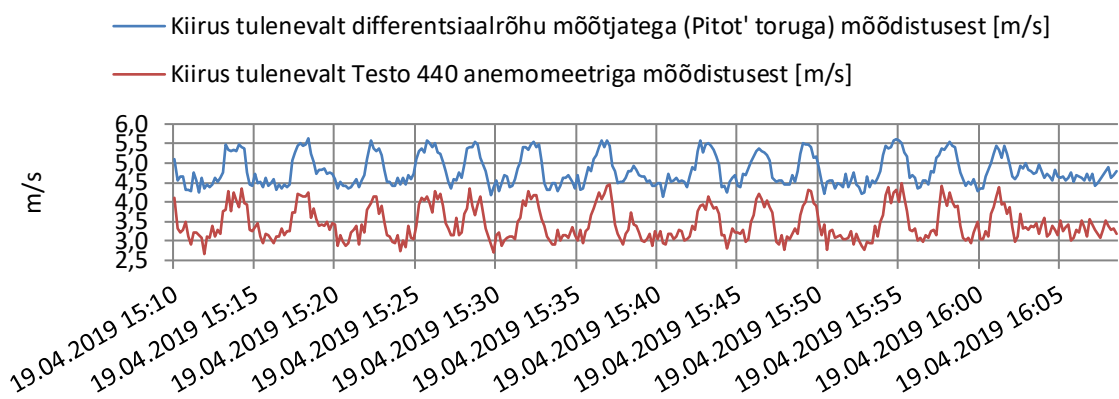


Joonis 3.10) ja tunni keskmise elektrivõimsust võrreldes. Keskmisest tendentsist kõrgemad fluktuatsioonid öistel perioodidel langevad kokku sagedamate perioodide SV3 kompressor tööaegadega.

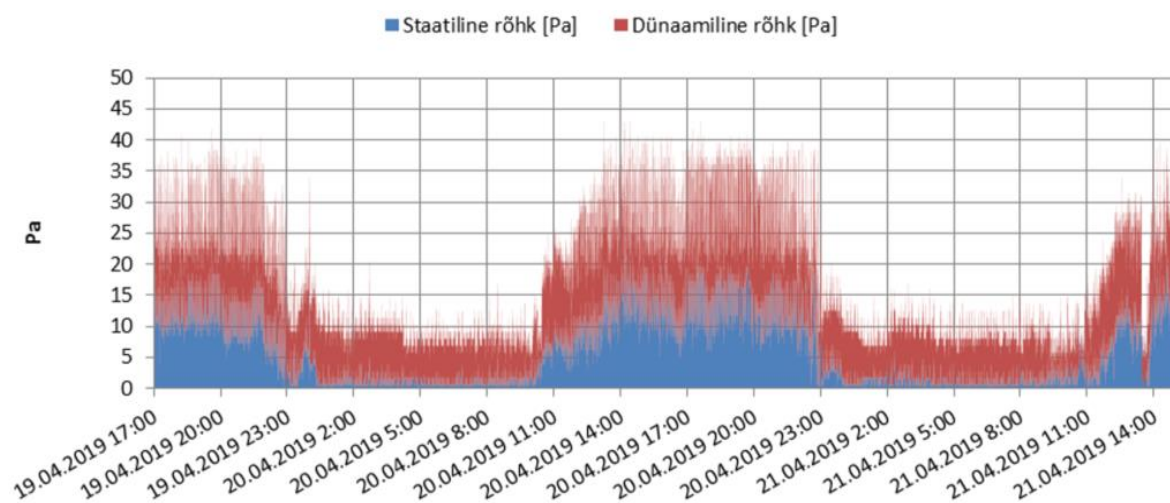
Seadmete elektrienergia kulu jaotub soojuspumba ja ventilaatorite vahel. Lähtudes basseiniseadmete ventilaatorite arendatavatest rõhkudest ja vooluhulkadest, saab tuletada ventilaatorite elektritarbimise. Teades kogutarbimist on võimalik kaudselt leida soojuspumba elektritarbimine (peatükk 2.4). Kokkuvõttes oli mõõteperioodil basseiniseadmete kogu elektriline tarbimine 2112 kWh, millest ventilaatoritele kulus 1677 kWh ja soojuspumpadele 435 kWh (LISA 9).

Heitõhu väljaviskekanalist väljuv soojusenergia

Seadme analüüsile lisaks on samal ajaperioodil uuritud sojuslikku potentsiaali läbi basseiniseadmete SV1, SV2 ja SV3 ühises väljaviskekanalis. Sama mõõdistust on ka teistel aastaegadel korratud. Mõõtmismetoodika on kirjeldatud peatükis 2.2.4.



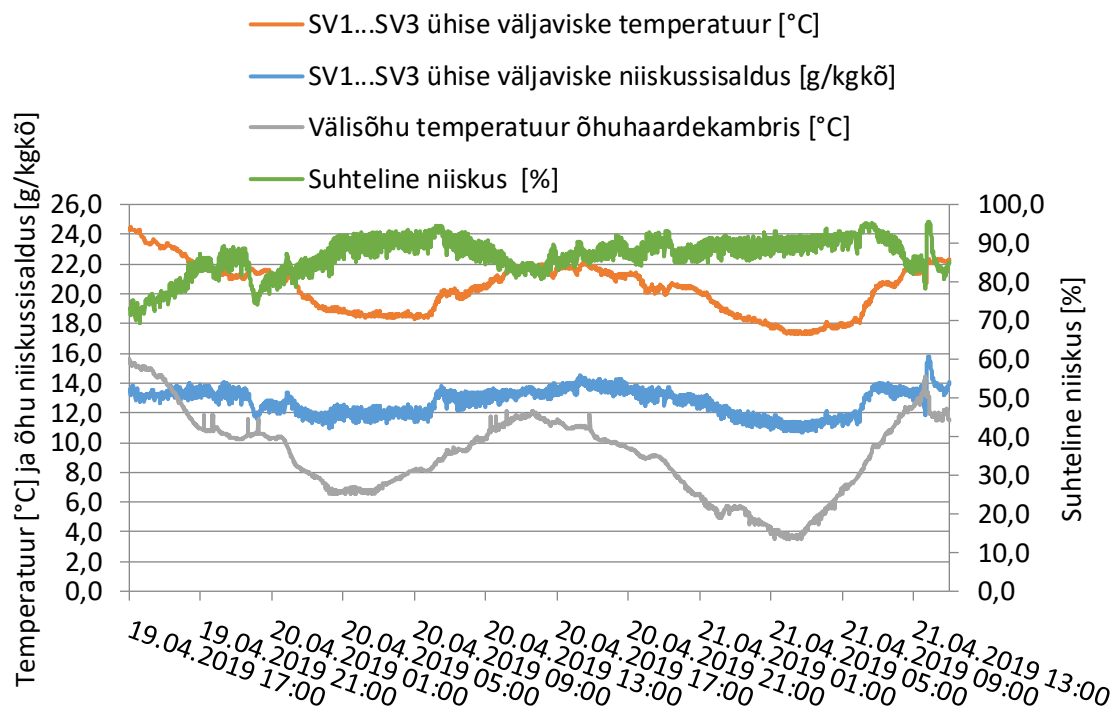
Joonis 3.16 Proovimõõdistus „VERIS“ differentsiaalrõhu mõõtjate ja „testo 440“ anemomeetriga. Pärast proovimõõtmisi viidi kahe differentsiaalrõhu mõõtjaga läbi 48 tunni kogurõhu ja staatilise rõhu mõõtmised nii, et *Pitot'* toru asukohta ei muudetud. Dünaamiline rõhk saadi arvutuslikult kogurõhu ja staatilise rõhu vahest.



Joonis 3.17 Staatiline ja dünaamiline rõhk SV1...SV3 ühises väljaviskekanalis. Samaaegselt mõõdeti ka väljatõmbeõhu suhtelist niiskust ja temperatuuri ning välisõhu temperatuuri õhuhaardemabrist.

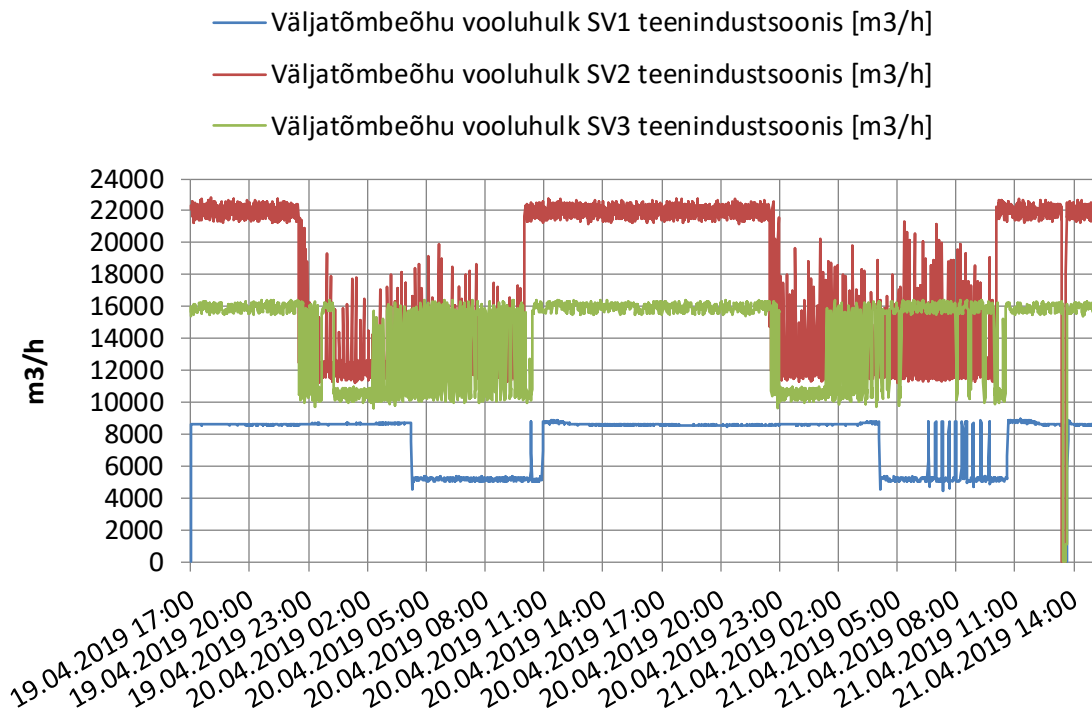
- Väljaviske poolel jäi õhu temperatuur vahemikku 17,3...24,4 °C.
- Väljaviskeõhu õhu suhteline niiskus oli vahemikus 69,3...95,4 %
- ning niiskussisaldus vastavalt vahemikus 10,7...15,8 g/kgkõ.

Õhu sojusniiskuslike parameetrite analüüsimisel on sarnane tendents väljaviskeõhu ning välisõhu temperatuuride vahel.



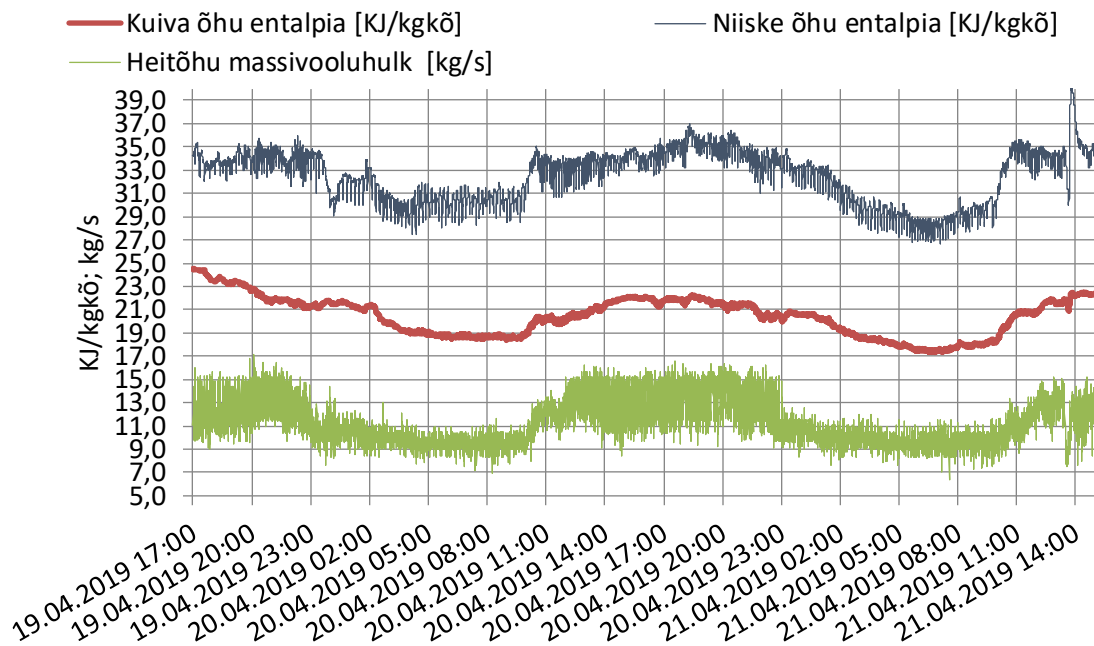
Joonis 3.18 Välisõhu temperatuur; SV1...SV3 temperatuur ja niiskussisaldus ühises väljaviskekanalis

Basseiniseadmete üldõhuvooluhulkade kirjeldamise aluseks võeti väljatõmbeõhu ventilaatori tootlikus, mis saadi basseiniseadmete kontrollerite logidest (peatükk 2.2.3). SV1 õhuvooluhulk oli mõõteperioodil kasutusajal 9000 m³/h ja kasutusvälisel ajal 5200 m³/h. SV2 vastavalt 22000 m³/h ja 12000 m³/h ning SV3 vastavalt 16000 m³/h ja 10530 m³/h. Üldiselt on õhuvooluhulgad kasutusaegadega määratud ning hüppeline muutus kajastub ka seadmete õhuvooluhulkade graafikul (Joonis 3.19). 21.04.2019 ajavahemikus 13:26...13:35 seoses ATS-häirega seadmed seisisid, mis on graafikul samuti tähendatav. Õhuvooluhulkasid uurides saab järeldada, et kõikumised öisel perioodil tulenevad sellest, et vähendatud õhuvooluhulgal ei suuda basseiniseadmed teenindustsoonides etteantud seadesuuruseid hoida. Vähendatud õhuvooluhulgaga režiimis seadmetel on järelkult lubatud tarvidusel vooluhulka nominaalse õhuvooluhulga seadesuuruseni tõsta, kui juhtloogika (peatükid 2.3.1 ja 2.3.2)) vähendatud õhuvooluhulgal ettenähtud seadesuurusel suhtelist õhuniiskust ei taga.



Joonis 3.19 Väljatõmbeõhu vooluhulgad SV1...SV3 teenindustsoonides kasutus- ja kasutusvälistel aegadel

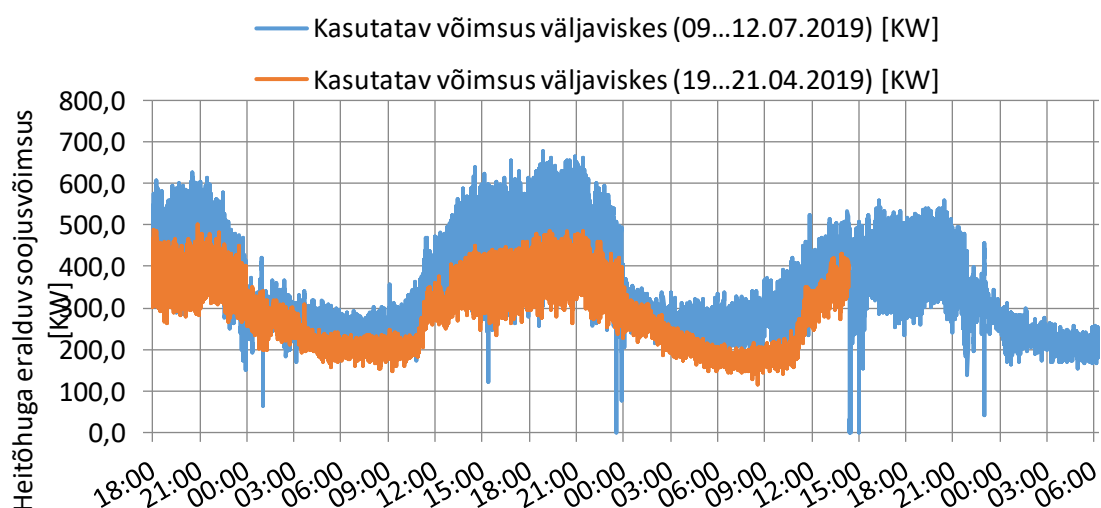
Heitõhu vooluhulgast tuletatud massivooluhulk seevastu sõltub basseiniseadmete klappide tööfunktsioonidest, kuigi tendents nominaalsete- ja vähendatud üldõhu vooluhulkade vahel öises- ja päevases režiimis on samuti seireandmete analüüsist tulenevalt märkimisväärne. Dünaamilisest rõhust tulenevalt leitud heitõhu vooluhulk jäi mõõteperioodil vahemikku 5,3...14,3 m³/s ja massivooluhulk vastavalt 6,4...17,1 kg/s. Keskmiselt läbis kanali ristlõiget 11,3 kilogrammi latentset ja sooja õhku sekundis. Õhu entalpia on analüüsis käsitlemiseks toodud nii ilmse kui ka varjatud soojusena. Koguentalpia jääb seejuures mõõteperioodil vahemikku 44,1...62,6 KJ/kg_{kõ}, millest kuiva õhu entalpia on keskmiselt 20,4 KJ/kg_{kõ} ja niiske õhu entalpia 32,5 KJ/kg_{kõ}. Välja paistab varjatud soojuse osakaal väljatõmbeõhu entalpias.



Joonis 3.20 SV1...SV3 heitõhu entalpiat ja massivooluhulk mõõdistusperioodil

Kasutatava võimsuse arutamisel valitud alumine entalpia arvutati 10 °C temperatuuri ja 90% suhtelise õhuniiskuse juures ning ülemine entalpia tuletati väljatõmbeõhu mõõdetud soojusniiskusklikest parameetritest ning staatilisest- ja kogurõhust vastavatel ajahetkedel. Mõõteperioodi keskmine väljatõmbeõhu temperatuur ja õhu niiskussisaldus on vastavalt 20,2 °C ja 12,8 g/kg_{kõ}.

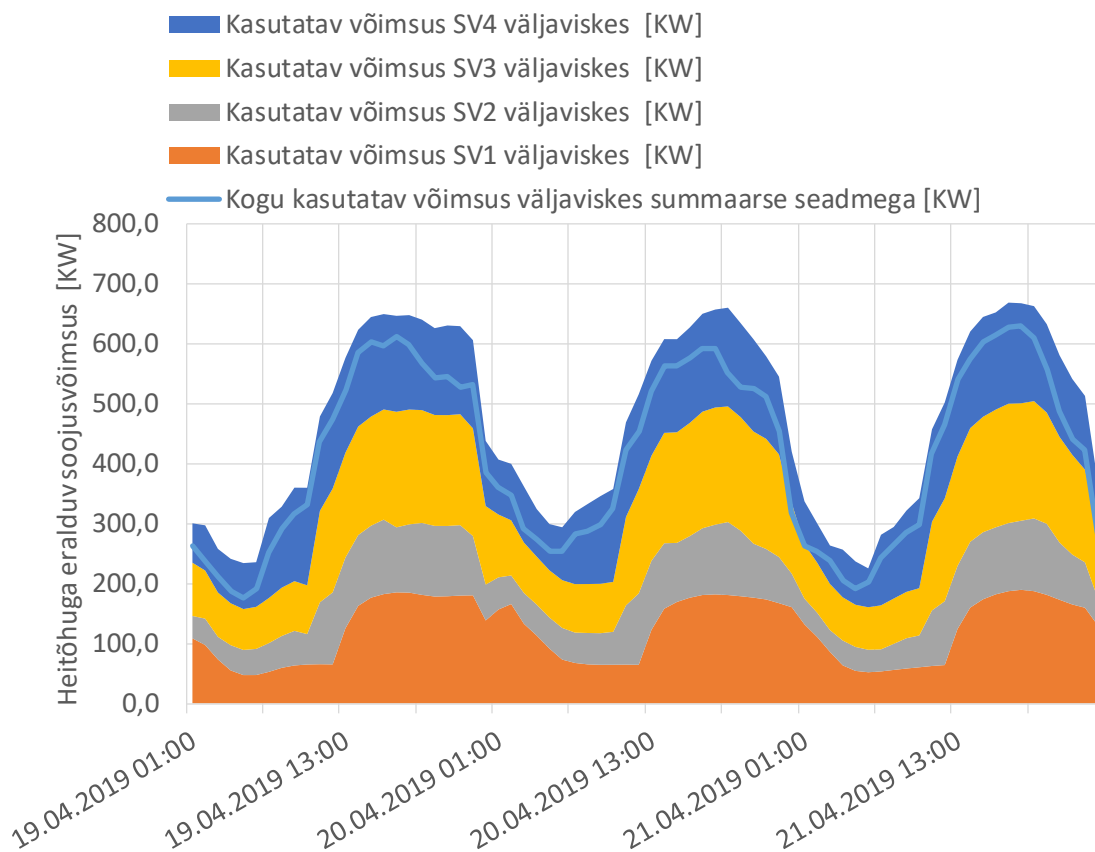
Mõõtmistele baseeruva analüüsi tulemuseks on kasutatav võimsus väljaviskekanalis arvestatavas suurusjärgus. Sama põhimõttega mõõdistust korrates ka suveperioodil on saadud tulemused:



Joonis 3.21 Potentsiaalne võimsus SV1...SV3 ühises heitõhukanalis

Mõõtmistulemuse põhjal on järeldatav, et basseiniseadme väljaviskes eksisteerib arvestuslik soojuslik potentsiaal, mille energiatõhustamise eesmärgiga uurimiseks

aastases energiabilansis on tarvilik basseiniseadmete juhtautomaatika simuleerimine. Kevadise mõõtmisega samal perioodil kalibreeritud mudeli tulemus kinnitab antud mõõtetulemuse potentsiaali ning loob tarviduse heitõhu aastabilansis kujutamiseks. Lisaks SV1...SV3 heitõhule arvestatakse simulatsiooniga ka SV4 potentsiaali.



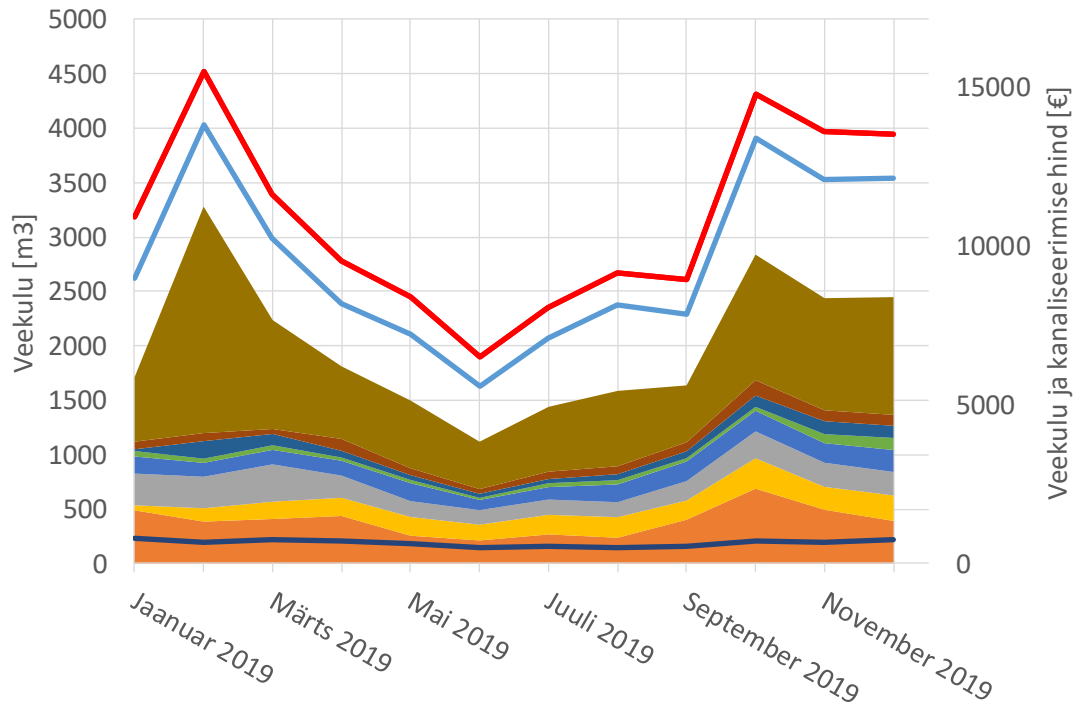
Joonis 3.22 Simulatsiooni põhjal kasutatav võimsus basseiniseadmete väljaviskes mõõdistusperioodil

3.2 Spaakeskuse vee- ja energiabilanss

3.2.1 Spaakeskuse veebilanss

Hooneautomaatika poolt logitud basseinide täitevee kulu, filtripesu mõõtemetoodikatele (peatükk 2.2.2) ning niiskuseraldistele tuginedes koostati veekulu bilanss.

- Spaakompleksi duššid kokku
- 36 °C; Perespaa Mullivannide veekulu
- 42 °C; Perespaa Jaapani basseini veekulu
- 42 °C; 21+ Jaapani basseini veekulu
- 33 °C; 21+ Suur basseini + Perespaa Laste-ringvoolu basseini + Õue Mullivannide veekulu
- 28 °C; Perespaa Sportbasseini veekulu
- 36 °C; 21+ Mullivannide ja Perespaa (atraktsioonidega) Lastebasseini veekulu
- 32 °C; Perespaa Ringvoolu- ja Laste-harjutusbasseini veekulu
- Spaakompleks kokku
- Hoone kokku
- Keskmine niiskuseraldus läbi õhuvahetuse

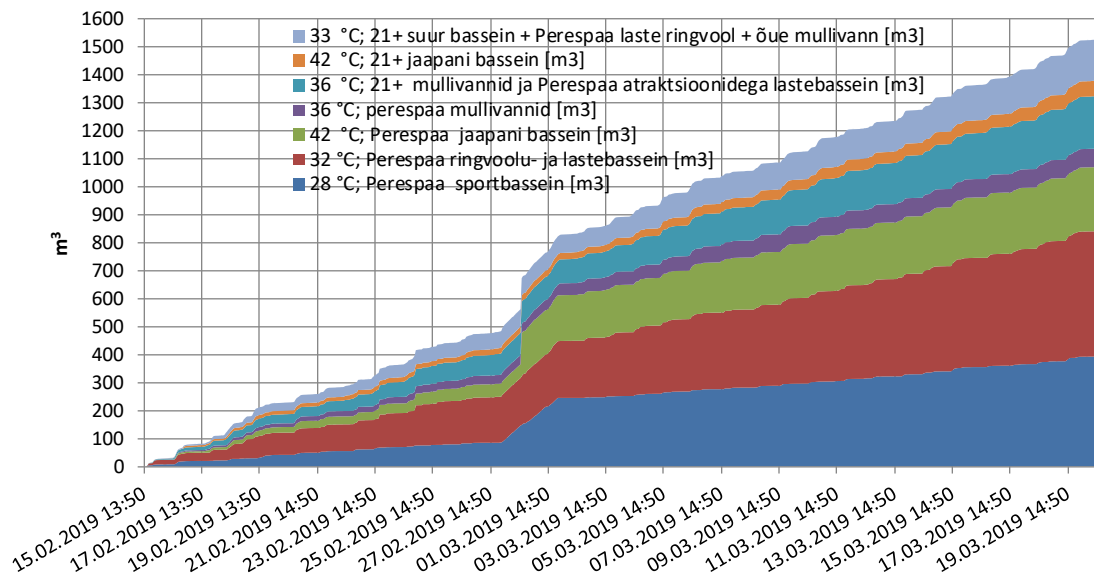


Joonis 3.23 Spaakeskuse veeblinass

Basseinide filtripesu veekulu analüüs mõõdistusperioodil

Olemasolevad tarbimisandmed on välja toodud LISA 8. Samaaegselt on käsitletud aurustumist, filtripesuvee kulu ning basseinide balansipaakide täitevee kogukulu veebilansi hindamiseks, tuginedes õhu parameetrite mõõdistusperioodile 28.02.2019...21.03.2019. Samuti arvestati logitud veekulu andmete hälbega SV4 teenindustsoonis (Joonis 3.24) 28.02.2019...04.03.2019. Seetõttu valiti tavapärase olukorra võimalikult täpselt käsitlemiseks maksimaalselt pika mõõteperioodi 04.03.2019 00:50... 20.03.2019 20:50, ehk 16 ööpäeva ja 21 tundi.

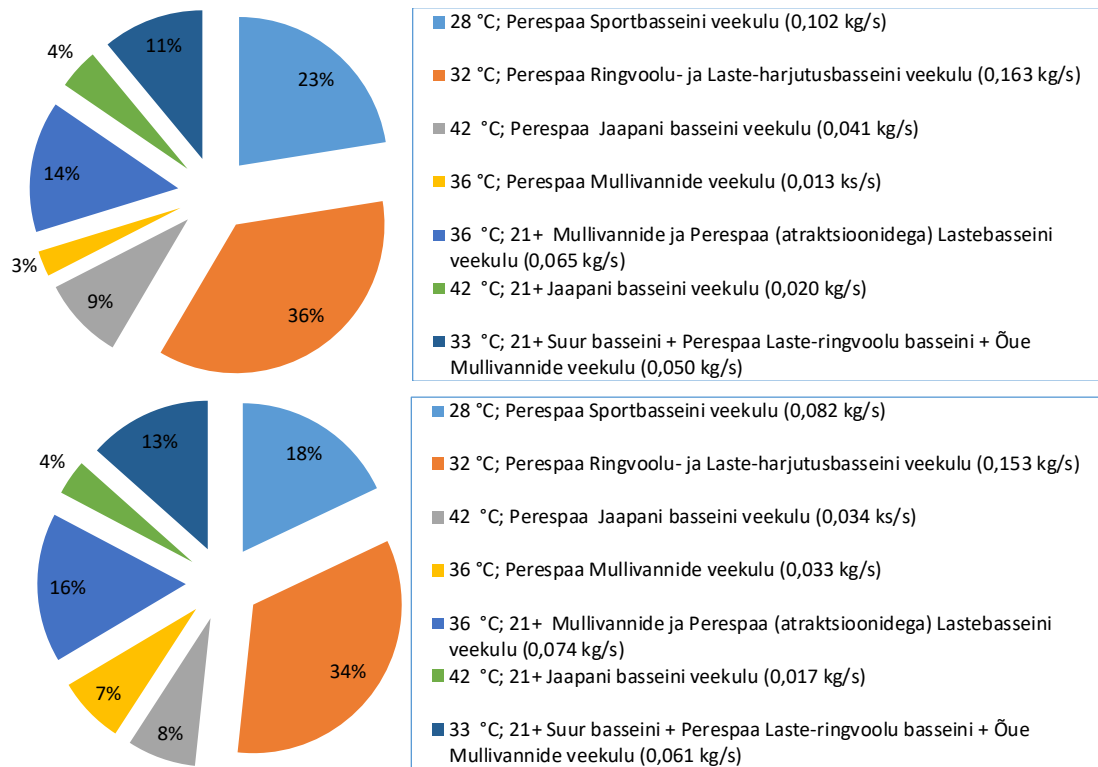
Basseinide kumulatiivne toitevee kulu jaotub mõõdistusperioodil alljärgnevalt:



Joonis 3.24 Basseinide täitevee kulu

Eeldame bilansi koostamisel, et kasutusintensiivsus ning inimõjurit tingitud aurustusintensiivsust kirjeldav faasiülekanne koefitsent jääb spaakeskuse kasutusajal aasta lõikes mõõdistusperioodiga samasse suurusjärku. Antud hetkeks on teada, et basseiniseadmete mitte-ettenähtud tööparameetritest (peatükk 3.1) tulenevalt olid õhu parameetrid SV1...SV3 teenindustsoonis 2019. aasta kevadisel mõõdistusperioodil tavaolukorrast erinevad. Õhu parameetrid mõjutavad aurustumisintensiivsust (peatükk 1.3).

Basseinide kogu täitevee kulu oli antud perioodil oli kokku 659,94 m³, ehk keskmiselt 0,454 kg/s. Filtripesu toimumisaegasid mõjutavad tervisekaitse nõuete määruseses [21] ettenähtud vee kvaliteedi näitajatest basseinivee keemilised näitajad. Need aga tulenevad basseinide kasutusaktiivsusest mõjutatavast vee mikrofloorast, olles seega suhteliselt ettearvamatud. Lisandväärtust ei annaks basseinide täitevee kulu kasutus- ja kasutusvälisest ajast tulenevate mõttekäikudega edasiminekuks, sest filtrite pesuajad ei toimu regulaarselt. Küll aga saab välja tuua basseinide täitevee kulu basseinkütte süsteemide kaupa, mis jaotub mõõdistusperioodil vastavalt järgnevale graafikutele.



Joonis 3.25 Mõõteperioodil 04.03.2019 ... 21.03.2019 basseinide täitevee kulu jaotuse (ülemine) ja 2019. aasta basseinide täitevee kulu jaotus (alumine) graafik

2019. aasta basseinide täitevee kulu jaotust mõõteperioodiga võrreldes saab tähendada, et:

- Summaarne mõõteperioodi veekulu 0,45399 kg/s kattub üllatava täpsusega 2019. aasta basseinide täitevee kuluga 0,45408 kg/s. Mõõdistusperioodi massivooluhulgad erinevad 2019. aasta keskmisega võrreldes vastavalt:
- Üldiselt peavad täitevee massivooluhulkade proportsioonid omavahel paika.
 - 28 °C; Perespaa Sportbasseinis 0,82 kordselt
 - 32 °C; Perespaa Ringvoolu- ja Laste-harjutusbasseinis 0,94 kordselt
 - 42 °C; Perespaa Jaapani basseinis 0,83 kordselt
 - 36 °C; Perespaa Mullivannides 2,62 kordselt
 - 36 °C; 21+ Mullivannide ja Perespaa (atraktsioonidega) Lastebasseinis 1,14 kordselt
 - 42 °C; 21+ Jaapani basseinis 0,87 kordselt
 - 33 °C; 21+ Suur basseini + Perespaa Laste-ringvoolu basseinis + Õue Mullivannis 1,22 kordselt

Ühe täitevee süsteemi (Perespaa Mullivannid) erinevus on teistest täitevee süsteemidest märkimisväärselt kõrgem. Süsteemi 2019. aasta keskmist täitevee kulu erinevust

möödistusperioodi suhtes on vastavalt $0,033 \text{ kg/s} - 0,013 \text{ kg/s} = 0,020 \text{ kg/s}$. Summaarsest keskmisest täitevee kulust $0,454 \text{ kg/s}$ moodustab antud kõrvalekalle $4,41 \%$. Edasisel veekulu bilansi analüüsil võeti aluseks möödistusperiood, mille täpsusele on antud kõrvalekalle marginaalse mõjuga.

Basseiniseadmete teenindustsoonide niiskuseraldust saab mööteperioodil analüüsida lähtuvalt keskmistest niiskuseraldistest, mis toodi välja niiskuseraldiste möödistuste analüüsi juures. Tuleb silmas pidada, et tulenevalt basseiniseadme SV2 sissepuhke- ja väljatõmbe õhuvooluhulkade suurest kõrvalekaldest ettenähtud seadesuuruse väärtusest, lahkus määrav osa niiskusest läbi SV2 teenindustsooniga ühenduses oleva SV3 teenindustsooni õhuvahetuse. Kuna SV2 ja SV3 viibimistsoonid asuvad ühtlasi ühenduses olevas alas, käsitleme nende niiskuseraldisi lihtsustatult – summaarsena.

Basseiniseadmete SV1...SV4 teenindustsoonides kogu niiskuseraldus läbi õhuvahetuse oli möödistusperioodil seega keskmiselt $0,077 \text{ kg/s}$. Tuginedes 2019. aasta keskmisele basseinide täitevee kulule $0,454 \text{ kg/s}$, moodustab aurustumine sellest $16,96 \%$.

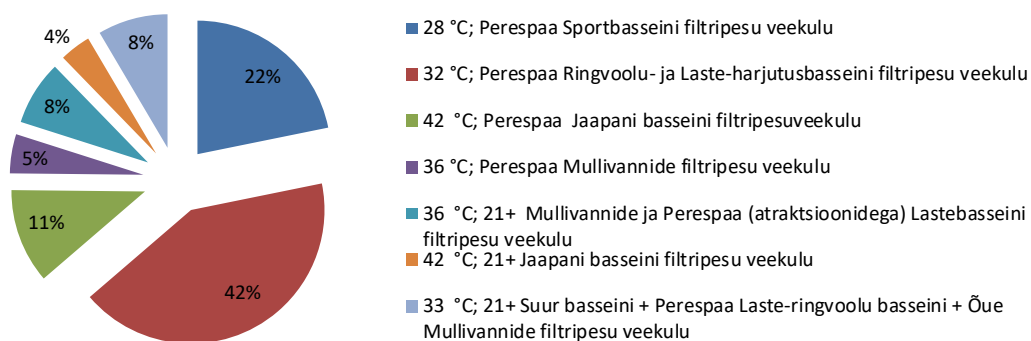
Basseinide filtripesu veekulu hindamiseks rakendati kahte erinevat veekulu möötemetoodikat (peatükk 2.2.2). Lähtuvalt spaakeskuse veeproovide tabelist saab hinnata filtrite pesemise hulka ja aega. Mööteperioodil 15.02.2019 13:50...20.03.2019 20:50 saab välja tuua tulemused:

- Proovipesu meetodil kulub filtripesule keskmiselt $0,189 \text{ kg/s}$, ning jaotub:



Joonis 3.26 Perioodil 15.02.2019...20.03.2019 basseinide filtripesu proovipesu meetodi veekulu jaotus

- Graafilisel meetodil kulub filtripesule keskmiselt $0,344 \text{ kg/s}$, ning jaotub:

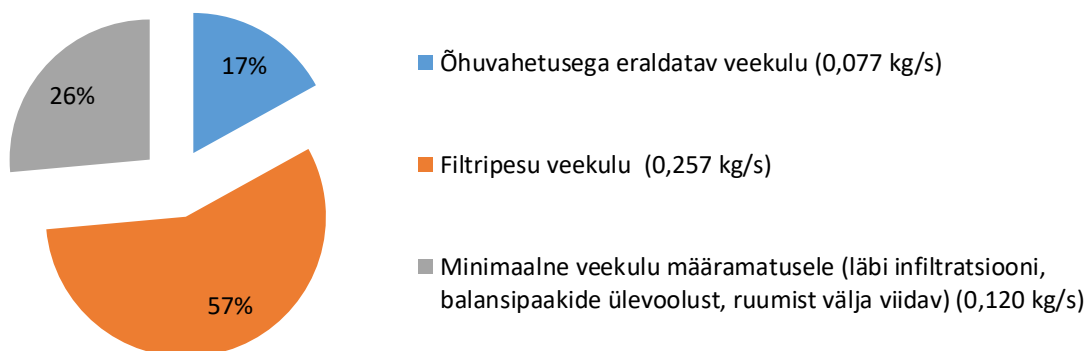


Joonis 3.27 Perioodil 15.02.2019...20.03.2019 basseinide filtripesu graafilise meetodi veekulu jaotus

Ühtlasi võib hinnata veekulu ka indikaatorina arvestatud kordajaga 1,36 (peatükk 2.2.2). Graafilise meetodi puhul on mõõdetavad toitevee pumpade tööst tulenev vee juurdevool balansipaaki. Pumbad hakkavad tööle tulenevalt veenivoo asendist andurite suhtes (peatükk 2.1). Millest võib järeldada, et 1,36 kordne erinevus proovipesu ja graafilise meetodi vahel (proovipesu teostamise ajal) tulenes sellest, et balansipaagid olid enne proovipesu mõne võrra tühjemad ehk veenivood olid ülemise anduri asendist madalamad. Seda ei arvesta graafiline meetod. Seega võib läbi kaudse meetodi paika panna, et filtripeseu veekulu on keskmiselt 0,257 kg/s

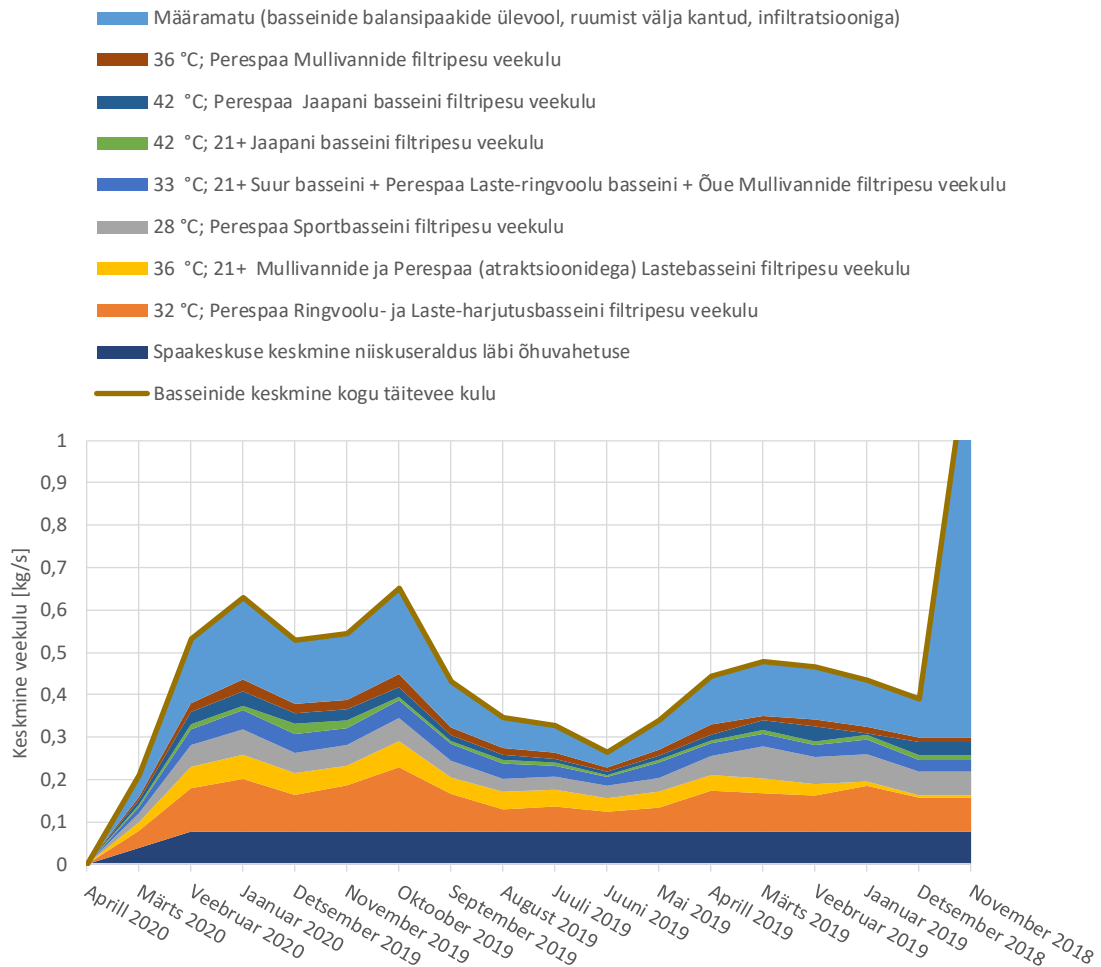
Veekulu bilansis on keskmine kogu veekulu 0,454 kg/s tulenevalt mõõdistustest jaotunud alljärgnevalt.

- Õhuvahetusega keskmiselt eralduva vee kulu on 0,077 kg/s.
- Filtrite pesuvee keskmine kulu jääb tulenevalt veekulu mõõtemetoodikate erinevatest tulemustest vahemikku 0,189 ... 0,336 kg/s. Kahte meetodit kombineerides on veekuluks 0,257 kg/s
- Määramata veekulu (läbi infiltratsiooni, balansipaakide ülevoolust, ruumist välja kantav) on minimaalselt 0,120 kg/s



Joonis 3.28 Ööpäeva keskmine veekulu

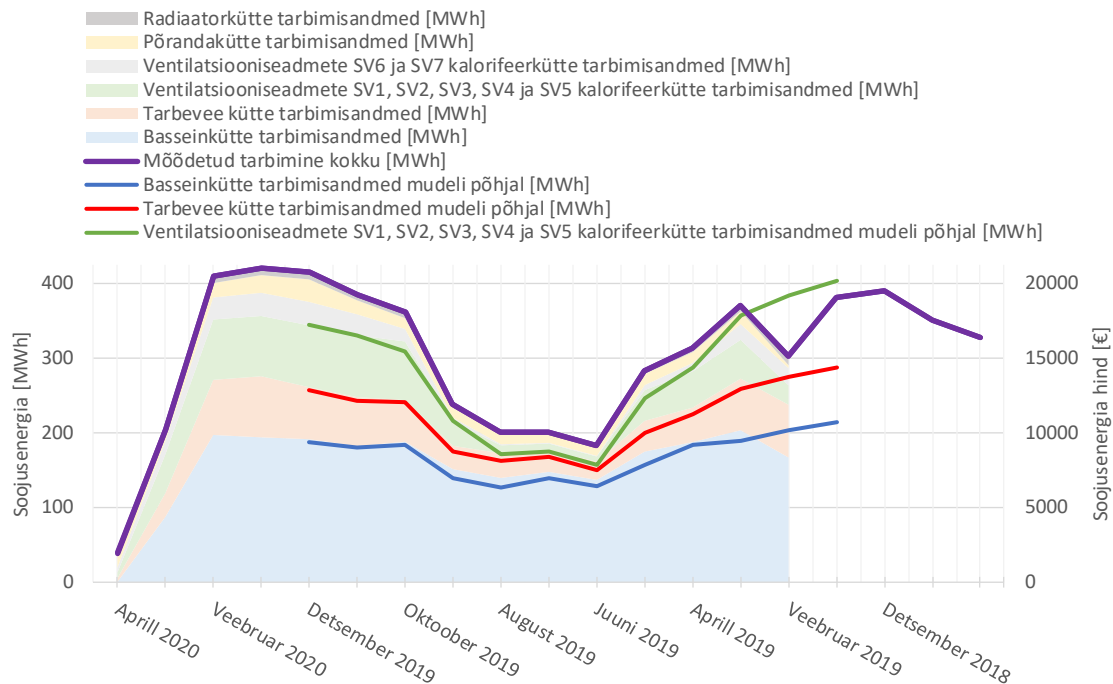
Laiendades antud mõttekäiku läbi hoone eksploatatsiooniperioodi, toome välja basseinide veekulu bilansi:



Joonis 3.29 Basseinide veekulu bilanss

3.2.2 Spaakeskuse energiabilanss

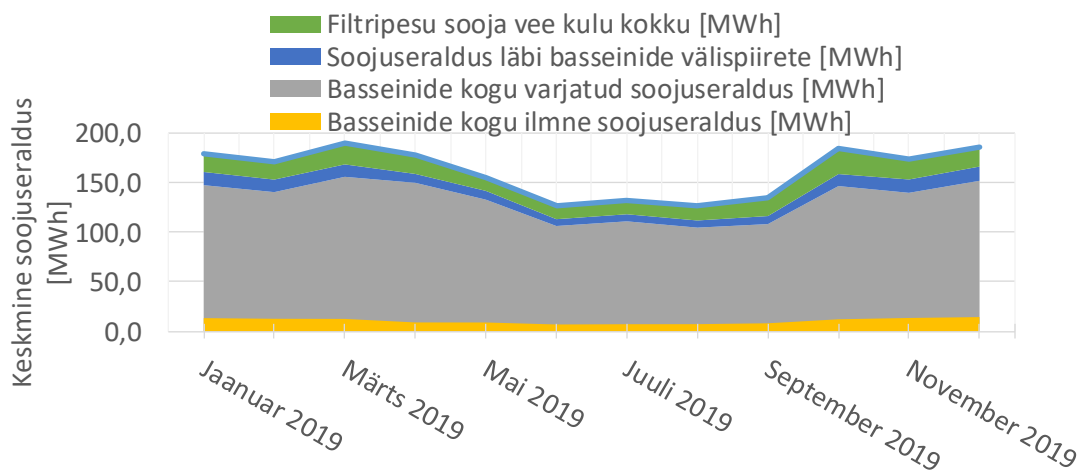
Spaakeskuse soojusenergia tarve on kulumõõtjatega jaotatav basseini-, tarbevee-, ventilatsiooni ja vähesel määral ka radiaator,- ning põrandakütte vahel. Tarbimisandmeid uurides on tähendatav, et lõviosa kaugkütte sooja kulub basseinküttele. Arvestataval hulgal kulub sooja tarbevett ning arvestatav osakaal on ka ventilatsiooni õhkkütte kalorifeeridel. Ventilatsioonküttest SV6 ja SV7 teenindavad spaakeskusest välja jäävat osa (batuudikeskust ning bowlingusaali), mida pole ka simulatsioonimudelil käsitletud. Põrandaküte on kasutuses spaakeskuses mugavusküttena ning radiaatorküte katab keskuses samuti uurimustöös mittekäsitletavaid batuudi,- ning bowlingukeskuse ruume. Kalibreeritud simulatsioonimudeli meetodil (peatükk 2.3.2) tulemused erinevus reaalistest tarbimisandmetes on kuni 7,50 %. Arvestada tuleb asjaoluga, et kuni 2019 märtsikuuni olid ka tarbimisandmed teatava ebatäpsusega – toimusid sooja kulumõõtjate lisamised (7. veebruar), mis kajastuvad hästi veebruarikuu tarbimisandmete graafikul.



Joonis 3.30 Spaakeskuse soojusenergia bilanss

3.2.3 Basseinkütte energiabilanss

Uurimustöö üks peamistest eesmärkidest oli basseinküttega seotud aurustumisprotsesside analüüs. Mõõtetulemustele (peatükk 3.1.2) tuginedes, on läbi simulatsioonimudeli arvutuste viidud protsessi parameetrid vastavusse reaalse olukorraga nii, et need ühtiksid tarbimisandmetega.



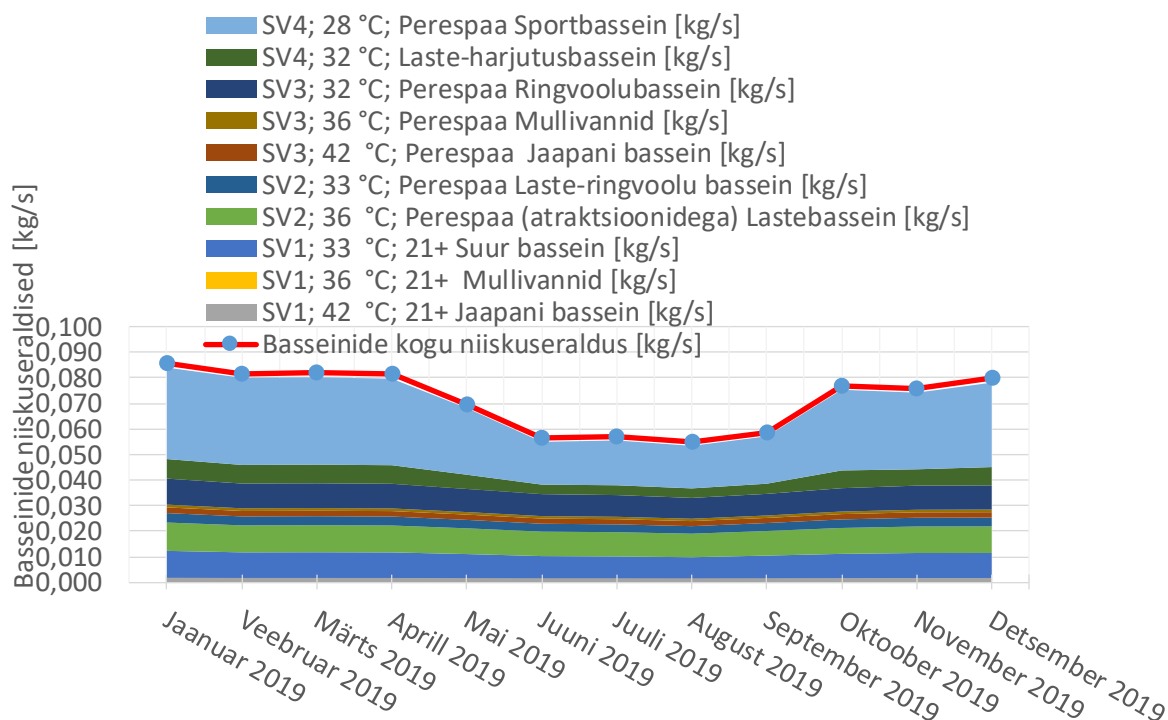
Joonis 3.31 Basseinkütte energiabilanss

On tähendatav, et valdav enamus basseinkütte soojast lahjub basseinidest aurustumise teel. Arvestav on ka basseinide filtrite pesule kulutatavsoojus. Läbi piirete

soojusülekanne ja basseinpinna ning basseiniruumi vahel konvektiivne soojusülekanne ei oma bilansis märkimisväärset osakaalu.

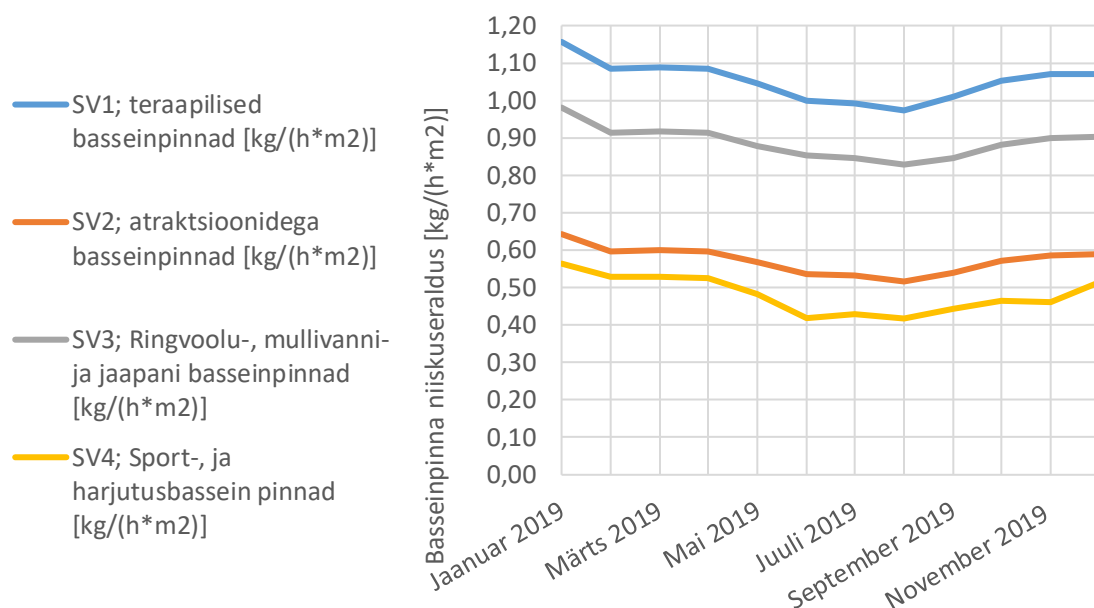
3.2.4 Niiskusbilanss

Basseinidest eraldub aurustumise teel varjatud soojus, mis on basseinkütte energiabilansis valdavas ülekaalus. Basseiniseadmete teenindustsoonide kaupa on välja toodud basseinipindade aurustumine:



Joonis 3.32 Basseinide niiskusbilanss

Eelnevalt läbi viidud niiskuseraldiste mõõdistuste analüüsist (peatükk 3.2.4) sai järeldada, et enamusjaolt toimub aurustumine läbi basseiniseadme SV4 teenindustsooni. Lisaks lahkus osa ülejäänud spaakeskuse niiskusest lahkus läbi SV4 õhuvahetuse. Ka basseinide niiskusbilansi graafikul tähendatav enamus aurustumisest toimunud SV4 (Perespaa Sportbasseini ja Laste-harjutusbasseini) alalt. On märkimisväärne, et võrdlemisi suur osakaal aurustumisintensiivsusel on talvisel perioodil, kui välisõhu niiskussisaldus on madalam, aga basseinide kasutusaktiivsus on suurem. Koondades basseinipinnad vastavate basseiniseadmete teenindustsoonide alla, on ruutmeetri põhised keskmised aurustusintensiivsused alljärgnevad:



Joonis 3.33 Keskmised basseinpinna niiskuseraldised

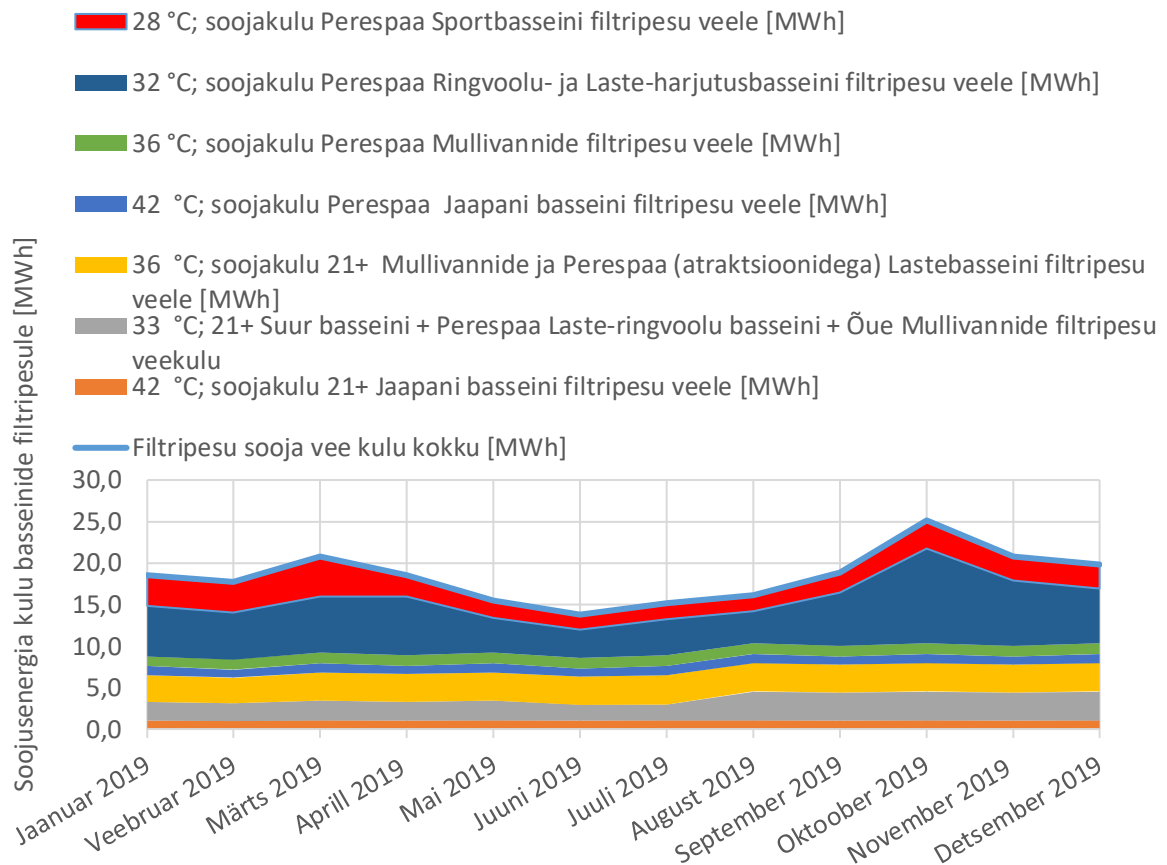
Tabel 3.1 Basseinpinde keskmised niiskuseraldised pinnaühiku kohta

	SV1; teraapilised basseinpinnad [kg/(h*m2)]	SV2; atraktsioonidega basseinpinnad [kg/(h*m2)]	SV3; Ringvoolu-, mullivanni- ja jaapani basseinpinnad [kg/(h*m2)]	SV4; Sport-, ja harjutusbassein pinnad [kg/(h*m2)]
Jaauar 2019	1,16	0,64	0,98	0,56
Veebruar 2019	1,09	0,60	0,91	0,53
Märts 2019	1,09	0,60	0,92	0,53
Aprill 2019	1,08	0,60	0,91	0,53
Mai 2019	1,05	0,57	0,88	0,48
Juuni 2019	1,00	0,54	0,85	0,42
Juuli 2019	0,99	0,53	0,85	0,43
August 2019	0,97	0,52	0,83	0,42
September 2019	1,01	0,54	0,85	0,44
Oktoober 2019	1,05	0,57	0,88	0,47
November 2019	1,07	0,59	0,90	0,46
Detsember 2019	1,07	0,59	0,90	0,52
Aasta keskmine	1,05	0,57	0,89	0,48

3.3 Spaakeskuse energiatõhustamine

3.3.1 Soojusenergia potentsiaal basseinide filtripesu- ja dušside hallvees

Basseinide filtripesu vee soojuslik potentsiaal tuleneb veekulu bilansis (peatükk 3.2.1) käsitletud basseinide täitevee kulust. 11 erinevat basseini jaotuvad 7 erineva küttesüsteemi ning seeläbi filtripesu kulude alla vastavalt:



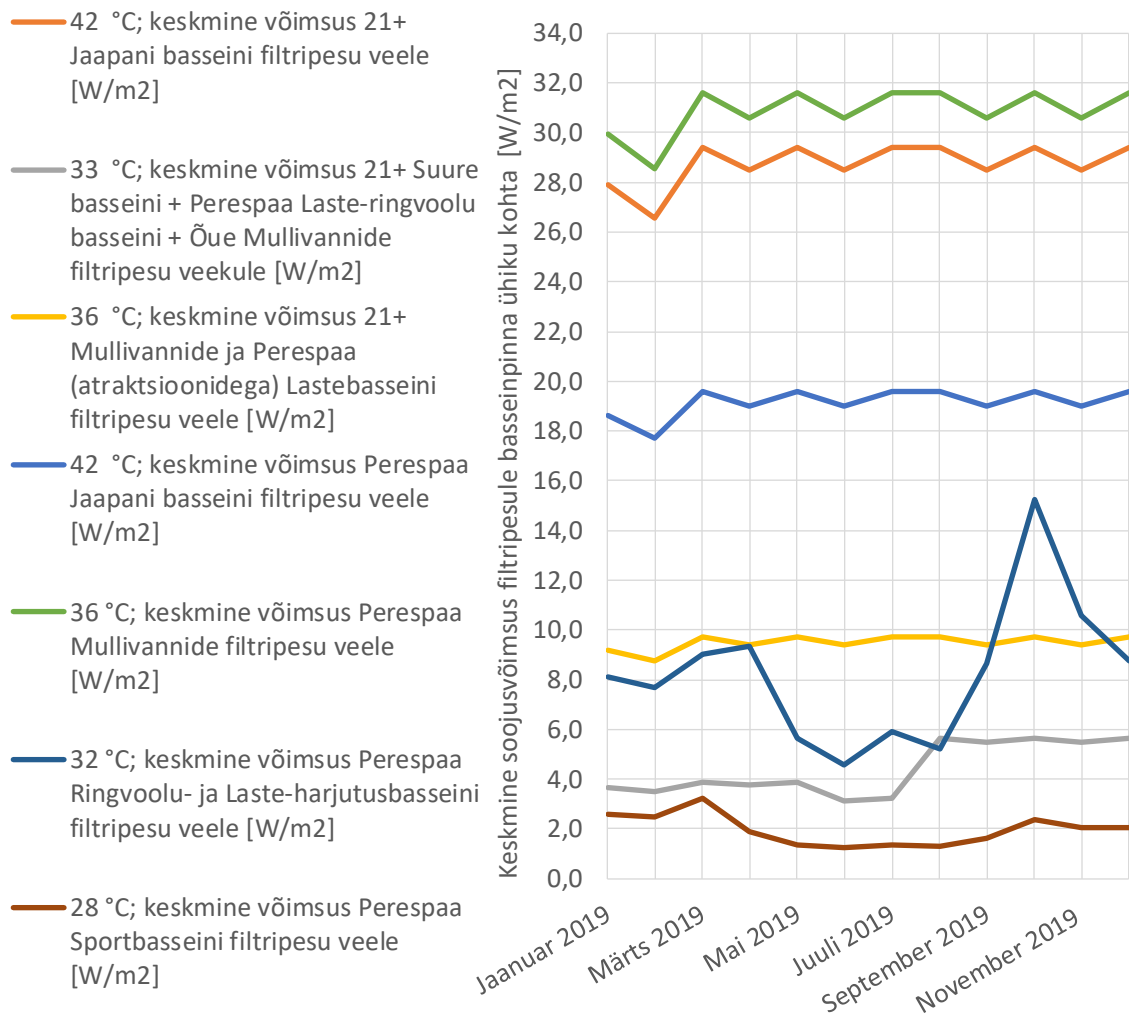
Joonis 3.34 Soojusenergia kulu jaotus basseinide filtripesu veele

Filtripesu vee küttele kulus 2019. aastal kokku 220,7 MWh soojusenergiat.

Tallinna võrgupiirkonna 2019 kehtiv kaugkütte piirhind 55,10 €/MWh + km

$$\text{Filtripesu soojusenergia kulu aastas} = 55,10 \cdot 220,7 = 12161 \text{ €} + km$$

Basseinide filtrite pesu tuleneb vee mikrobioloogilistest näitajatest, mida reguleerib Tervisekaitse nõuete määrus ujulatele, basseinidele ja veekeskustele [21]. Mõõdistustele baseeruv filtrite pesu sooja vee küttekulu jaotub vastavate kasutusotstarbega basseinide vahel ka erinevalt. Erinevuse saab välja tuua basseini pinnaühiku kohta. Suurim küttekulu on kõrgtemperatuursetes Jaapani basseinides ja mullivannides, kus eelduste kohaselt on m² basseinpinna kohta suurim kasutusaktiivsus. Siiski saab tähendada, et suveperioodil, kui kasutusaktiivsus spaakeskuses väheneb, siis kõrgtemperatuursete basseinide filtrite pesemine ei vähene. Suurematel basseinidel on seevastu erinevus märgatav. Soovitus hoone kasutajale on filtripesu graafikud üle vaadata – kui vee mikrobioloogilised näitajad võimaldavad, siis on võimalik vähendada antud basseinide filtripesu suvisel perioodil.



Joonis 3.35 Basseinide pinnaühiku kohta keskmine võimsus filtripesule soojakulule

Spaakeskuse duššide hallvee soojusenergia potentsiaal

Tuginedes spaakeskuse veebilansile (peatükk 3.2.1), mis tugineb vastavalt spaakeskuse duššide veekulu mõõturite logidele saab välja tuua, et spaakeskuses on 2019. aastal kasutatud ühtekokku 10 476,5 m³ tarbevett.

Eeldades, et toitevee temperatuur ühisveevärgist on konstantselt 7 ° ning hallvee temperatuur on 28 °C, saame:

$$\Sigma Q_S = \Sigma(m_t \cdot c \cdot \Delta T) \tag{3.10}$$

,kus ΣQ_S on aasta summaarne hallvee soojushulk [J]

m_t on filtripesu vee kogumass [kg]

c on vee erisoojus, 4186 [J/(kg·°C)]

ΔT on hallvee- ja toitevee temperatuuride vahe [°C]

Seega on duššide hallvee potentsiaal vastavalt:

$$\Sigma Q_s = 10467,5 \cdot 1000 \cdot 0,997 \cdot 4186 \cdot (28 - 7) = 9,17 \cdot 10^{11} J = 254,8 MWh$$

Edasiseks on tarvilik arvestada juurde väljavalitud süsteemi soojusvaheti, mis on vajalik antud potentsiaali realiseerimiseks, efektiivsust.

3.3.2 Basseinide katmine SV4 teenindustsoonis

Tulenevalt basseinide geomeetristest iseärasustest (Joonis 2.2) oleks reaalsuses kaalutletav vaid SV4 teenindustsoonis asuvate basseinide öine katmine kasutusvälisel ajal. Vaadeldes mõõtetustulemusi, on SV4 teenindustsoonis tähendatavad kõrgemad niiskuseraldised, kui ülejäänud spaas kokku (peatükk 3.2.4). Samaaegselt järeldame tulenevalt mõõdistusest, et kasutusvälisel ajal on SV4 teenindustsoonis aktiivsusfaktor keskmiselt 75% kasutusaja aktiivsusfaktorist. Kuigi SV4 teenindustsoon on ülejäänud spaakeskusest olnud eraldatud vaheuksega, on ülejäänud hoonekompleksist madalam partsiaalrõhk määramatu osa niiskusest toonud sisse kõrvalolevatest basseiniruumidest (uste avamisega, läbi piirete jne). Samaaegselt on SV4 teenindustsoonis mõõdistusperioodil õhu parameetrid ettenähtud piirides, mis ettenähtud ruumiõhu parameetrite näol on loonud tarvilikud tingimused mõõdistustele toetuvate parameetritega analüüsi läbiviimiseks.

Niiskusbilansist tulenevalt on SV4 teenindustsooni aasta keskmine niiskuseraldis 0,033 kg/s

Valem 1.9 on basseinpindade aurustumise analüüsimiseks viidud kujule:

$$\Sigma \dot{M}_{kv.a} = \frac{\sim \beta_{kv.a}}{R_D \cdot T_{SB}} \cdot (p_{SBa.p} - p_{a.\bar{o}}) \cdot A_{SB} + \frac{\sim \beta_{kv.a}}{R_D \cdot T_{LH}} \cdot (p_{LHa.p} - p_{a.\bar{o}}) \cdot A_{LH} \quad 3.1$$

,kus $\Sigma \dot{M}_{kv.a}$ on SV4 basseiniseadme teenindustsoonest õhuvahetusega eraldunud vee kogus kasutusvälisel ajal [kg/h];

$\sim \beta_{kv.a}$ on SV4 basseiniseadme teenindustsooni keskmine vee faasiülekanne koefitsent kasutusvälisel ajal [m/h];

R_D on veeauru universaalne gaasikonstant

$T_{SB}; T_{LH}$ on Sportbasseini ja Laste-harjutusbasseini vee ja SV4 viibimistsooni õhu temperatuuride aritmeetiline keskmised [K];

$p_{SBa.p}; p_{LHa.p}$ on Sportbasseini ja Laste-harjutusbasseini partsiaalrõhud basseinide pindadel veeaurudega küllastunud õhus [Pa];

$p_{a.\bar{o}}$ on veeauru partsiaalrõhk SV4 viibimistsooni õhus [Pa];

$A_{SB}; A_{LH}$ on Sportbasseini- ja Laste-harjutusbasseini pindalad [m²];

Esmalt on leitud teenindustsooni keskmine vee faasiülekanne koefitsent kasutusvälisel ajal. Selleks viime valemi kujule:

$$\sim\beta_{kv.a} = \frac{\Sigma\dot{M}_{kv.a}}{\frac{(p_{SBa.p} - p_{a.\delta}) \cdot A_{SB}}{R_D \cdot T_{SB}} + \frac{(p_{LHa.p} - p_{a.\delta}) \cdot A_{LH}}{R_D \cdot T_{LH}}}$$

Tuginedes lähte,- mõõdistus.- ja simulatsiooniandmetele (Peatükid 1.3; 2.2.1; 2.3.2), on teada:

- $\Sigma\dot{M}_{kv.a} = 118,8 \text{ kg/h}$;
- $R_D = 461,52 \text{ J/kg}$;
- $A_{SB} = 405 \text{ m}^2$;
- $T_{SB} = (28 + 28,01) = 28,05 \text{ }^\circ\text{C}$;
- $A_{LH} = 55 \text{ m}^2$;
- $T_{LH} = (32 + 28,01) = 30,05 \text{ }^\circ\text{C}$

Teades SV 4 teenindustsooni basseinide temperatuure ja kasutusvälisel ajal kasutusvälisel ajal logiandmete keskmist viibimistsooni õhu niiskussisaldust 12,04 g/kg_{kõ} ja õhu temperatuuri 28,01 °C leiame partsiaalrõhud (LISA 7 Partsiaalrõhud h-x diagrammi).

- $p_{a.\delta} = 1,88 \text{ KPa}$
- $p_{SBa.p} = 3,75 \text{ Kpa}$
- $p_{LHa.p} = 4,75 \text{ Kpa}$

Tulenevalt antud andmetest leiame suurusjärgu hindamiseks vee faasiülekande koefitsendi:

$$\sim\beta_{kv.a} = \frac{118,8}{\frac{(3750 - 1880) \cdot 405}{461,52 \cdot 28,05} + \frac{(4750 - 1880) \cdot 55}{461,52 \cdot 30,05}} = 1,70 \cdot m/h$$

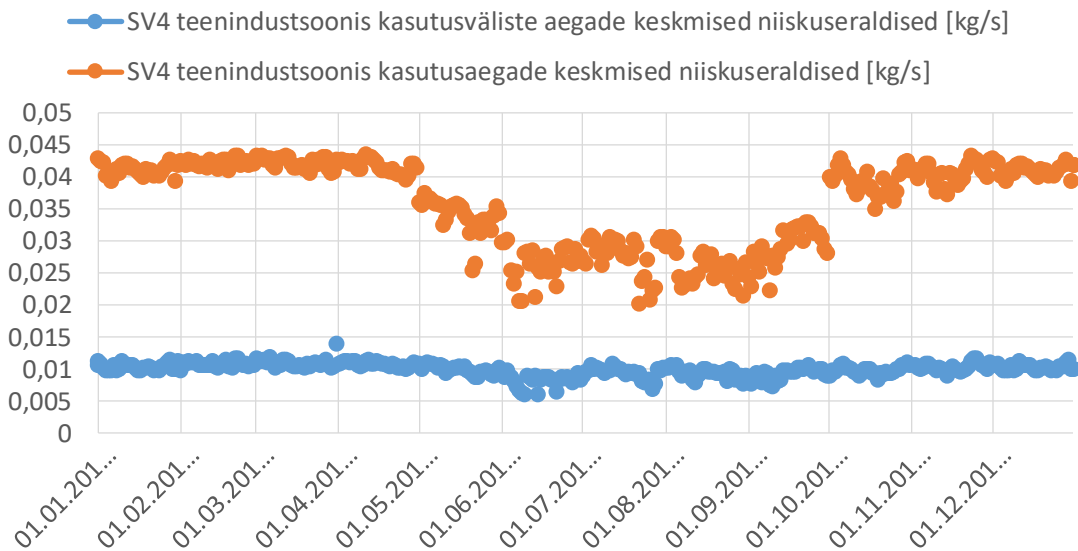
VDI juhendmaterjal on basseinidele määratud kasutusvälisel ajal faasiülekande koefitsendiks 7,0. (Joonis 1.1). Seega on VDI soovituslik koefitsent tugeva varuteguriga.

Ühtlasi on VDI's toodud aktiivsusefaktor kaetud basseinpinnale 0,7. Vihjatakse aurustumisele läbi rennide. Antud juhul tähendab see SV4 teenindustsooni kaetud basseinpindadele aurustumisintensiivsust:

$$\Sigma\dot{M}_{kv.a} = \frac{0,7}{461,52 \cdot 28,05} \cdot (3750 - 1880) \cdot 405 + \frac{0,7}{461,52 \cdot 30,05} \cdot (4750 - 1880) \cdot 55 = 48,9 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0,0136 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

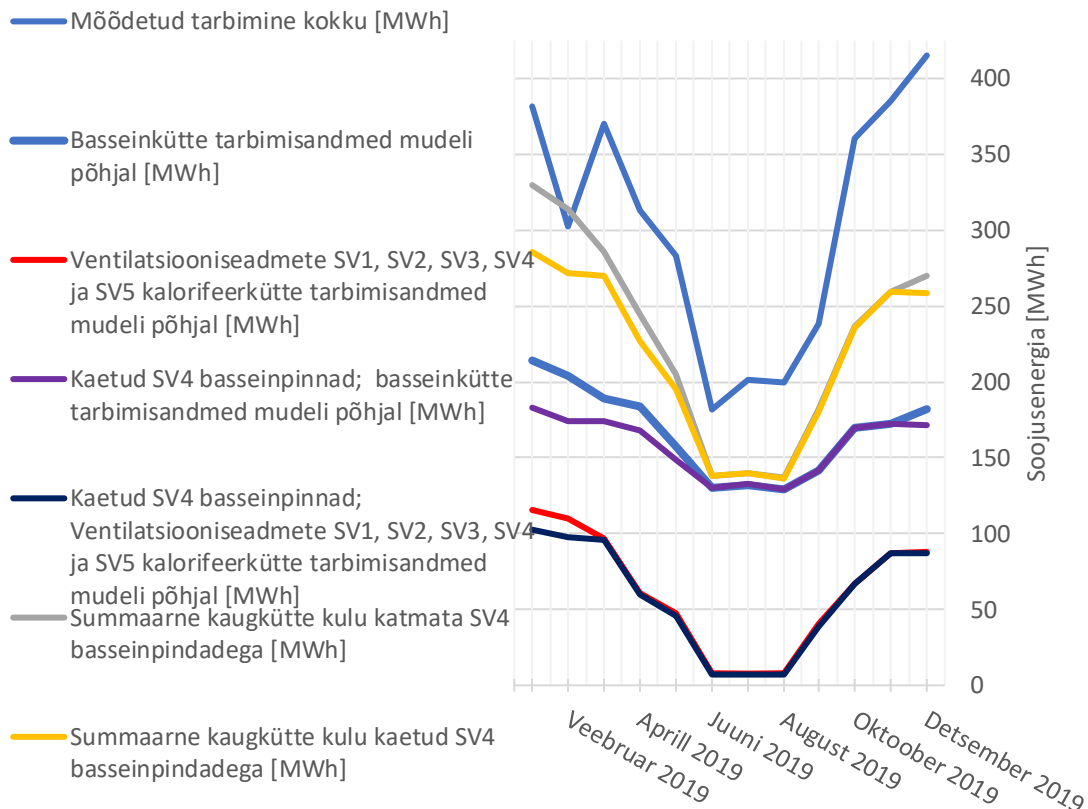
Uurimustöös leiti basseinpindade aurustumisintensiivsused (Tabel 3.1). Antud keskmist niiskuseraldist basseinpinna kohta saab arvesse võtta ka aurustumisintensiivsuse leidmiseks. Aasta keskmine niiskuseraldis pinnaühiku kohta on SV4 teenindustsoonis 0,48 kg/(m²*h). Teades basseinide mõõtmeid (Joonis 2.2) leiti rennide pindala ning basseini katmatu ala osakaal. Kahe basseini kogu katmatu ala on vastavalt 53 m². Seega

aurustub kaetud SV4 teenindustsooni basseinidest keskmiselt 0,0071 kg/s. Seega on basseinpinna jaoks VDI aktiivsusfaktori 0,7 samuti varuteguriga. On loodud aastasimulatsiooni meetmest, kus oleks kasutusvälisel ajal 23:00...06:00 igapäevaselt rakendatud basseinide katmine. Aktiivsusfaktor valiti simulatsioonis nii, et SV4 teenindustsooni basseinipindade aurustumine jääks kasutusvälisel ajal läbi aasta vahemikku 0,0071...0,0136kg/s.



Joonis 3.36 SV4 teenindustsoonis kaetud basseinipindadega niiskuseraldiste väärtused.

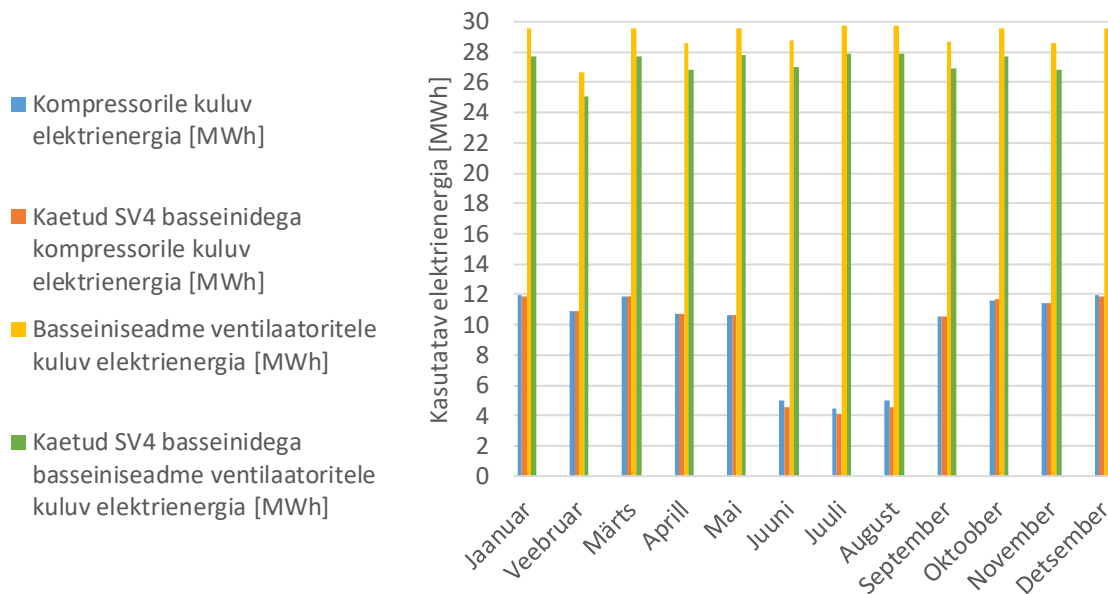
Hoone kaugkütte soojusenergia kulu vähendaks SV4 basseinipindade öine katmine 2019. aasta kliimaandmetega 175,8 MWh. Tähelepanuväärne on, et suurim erinevus tekib kuiva õhu niiskussisaldusega jaanuari ja veebruari arvelt. Väikseim erinevus tuleneb seevastu juuli ja augusti soojadest ning niisketest suveõhtutest, kus õhu niiskussisaldus on võrdlemisi kõrgem ning öisel perioodil õhutemperatuuri langedes tõuseb ka suhteline õhuniiskus. Basseiniseade on eelduste kohaselt suuteline (aurustusprotsesse mõjutavaid) basseiniruumide soojusniiskuslike seadesuuruseid hoidma. Siiski võib sisekliima parameetrite mõõdistustel (LISA 4 ja LISA 5) tihedasi fluktuatsioone, mis on eelduste kohaselt aurustumise intensiivsust vastavale poole mõjutavad.



Joonis 3.37 Kaetud vs katmata SV4 teenindustsooni kaugkütte soojusenergia kulu Tallinna võrgupiirkonna 2019 kehtiv kaugkütte piirhind 55,10 €/MWh + km

$$\text{Kokkuhoid soojusenergialt aastas} = 55,10 \cdot 175,8 = 9686,60 \text{ €} + km$$

Ühtlasi mõjutab basseinide katmine basseiniseadme elektritarbimist. Tulenevalt basseiniseadme analüüsist (peatükk 0) on teada, et seadme soojuspump töötab tulenevalt küttevajadusest ja pole otseselt seotud basseinide katmisest tuleneva aurustumisintensiivsuse muutusega. Simulatsioonandmetest aga ilmneb, et basseinide katmisel on soojuspumba tööle kaudne mõju. Võimalik on piirata kaetud basseini puhul öises režiimis basseiniseadme õhuvooluhulkasid. Esialgse kasutusvälise aja vähendatud õhuvooluhulga 19 000 m³/h asemel on rakendatud õhuvooluhulka 8925 m³/h – vähendades värske õhu ja sellele kuluva kütte osakaalu – vähendades samaaegselt ka ventilaatorite elektritarv et.



Joonis 3.38 SV4 teenindustsoonis basseinide öisest katmisest tulenev basseiniseadme elektrienergia kulu

Kokkuvõttes tarbivad basseiniseadme ventilaatorid SV4 teenindustsoonis kaetud basseinipindade tõttu aastas 1,40 MWh ja ventilaatorid vastavalt 14,25 MWh vähem elektrienergiat.

Mustamäe Keskusele 2019 kehtiv elektri keskmine hind 100,1 €/MWh + km

$$\text{Kokkuhoid elektrienergialt aastas} = 15,65 \cdot 100,1 = 1566,6 \text{ €} + \text{km}$$

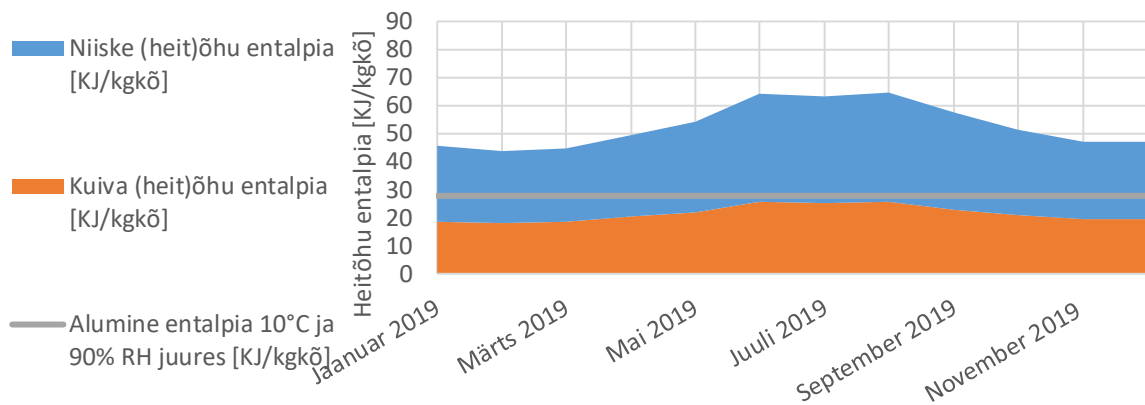
Arvestades, et basseini aurustumise peale kuluva täitevee massivooluhulk 118,8 kg/h väheneb kasutusvälisel ajal VDI´st tuleneva suuruseni 48,9 kg/h, väheneb veekulu 69,9 kg/h ehk vastavalt aastas 178,6 m³ basseinivett.

Mustamäe Keskusele 2019 kehtiv vee ja kanaliseerimise keskmine hind 3,43 €/m³ + km

$$\text{Kokkuhoid veekulult aastas} = 178,6 \cdot 3,43 = 612,6 \text{ €} + \text{km}$$

3.3.3 Jääsoojus bilanss basseiniseadmete heitõhukanalis

Järjeks mõõdistustele tuginevale basseiniseadmete heitõhu analüüsile (peatükk 0) loodi aastasimulatsiooni andmete põhjal kasutatava energia bilanss. Välja saab tuua, et enamuse jaolt heitõhu soojusenergiat tuleneb varjatud soojusest ehk soojusest mis kulus spaakeskuses aurustumisele. Ilmses soojuses on soojuslik potentsiaal väiksem, kalendrikuu keskmine temperatuur heitõhus kõigub vahemikus 18,0...25,5 °C.



Joonis 3.39 Niiske, - ja kuiva heitõhu entalpia

Aluseks võeti lähtetingimus, et basseiniseadmest välja liikuv sooja ja kõrge niiskussisaldusega heitõhust on võimalik väljuv soojusenergia soojuspumba aurusti poolega tagasi püüda.

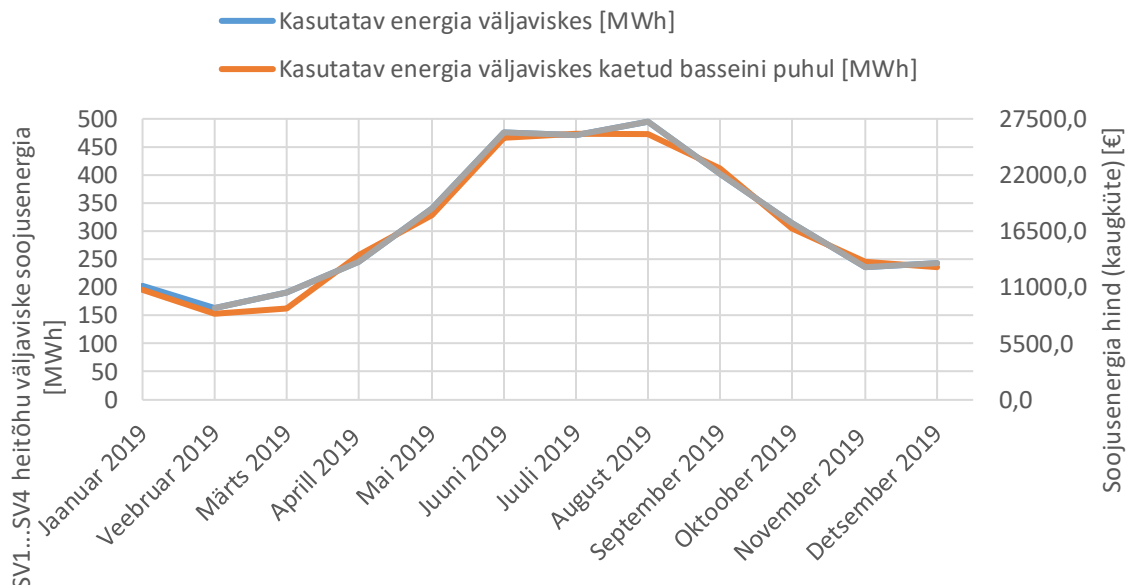
Valiti õhu parameetrid 10°C ja 90% RH, milleni heitõhu parameetrid pärast soojuspumba aurusti poolt langeksid. Antud parameetrite juures on valitud protsessis alumine entalpia, mis lahutati heitõhus ajahetkel eksisteerivast entalpiast.

Suurem osa sooja eraldub heitõhu kaudu suvisel perioodil, kui basseiniseadmetel sageneb jahutusvajadusest tulenev tööpõhimõte. Basseiniseadmetes olemasolevad soojuspumbad töötavad soojemal perioodil vähem, püüdmata kinni heitõhku eralduvat latentset soojusenergiat. Samaaegselt retsirkuleerivad basseiniseadmed suveperioodil õhku vähem, paisates suuremal hulgal soojusenergiat väljaviskesse. Soojusvõimsused kõiguvad heitõhus ööpäeva lõikes samuti suures ulatuses. On tähendatav, et soojusenergia potentsiaal väljaviskekambris tuleneb põhiliselt päevasest ajast.

Aasta heitõhu bilansis (LISA 10) tunni keskmised väärtused kõiguvad vahemikes:

- Temperatuur 12,3...34,0 °C
- Õhu niiskussisaldus 6,9...25,5 g/kg_{kõ}
- Kuiva õhu entalpia 12,4...34,2 KJ/kg_{kõ}
- Niiske õhu entalpia 18,4...53,3 KJ/kg_{kõ}
- Kasutatav soojusvõimsus heitõhus 31,6...1409,8 kW

Basseiniseadme heitõhus on aasta lõikes märkimisväärne soojuslik potentsiaal.



Joonis 3.40 Kasutatav soojusenergia basseiniseadmete väljaviskekambris [MWh]

Aasta summaarne heitõhu soojusenergia on 3780 MWh. Kui rakendada samaaegselt SV4 teenindustsooni basseinpindade õist katmist, väheneks heitõhu soojusenergia 3708 MWh-ni. Siinkohal tuleb silmas pidada, et see suurus leiti tugevalt kõikuvate parameetrite tulemusel (LISA 10). Hoonesse antud soojusenergia täiel määral tagastamine tähendaks tehnoloogiliselt ja tasuvuselt ebaotstarbekaid lahendusi.

KOKKUVÕTE

Magistritöös võeti aluseks Mustamäe Elamuste Keskuse spaakeskus, kus on kokku ligi 920 m² erinevate temperatuuride ja küttesüsteemidega basseinpindu. 11 põhilist basseinide kompleksi jagunevad 7 erineva basseinkütte süsteemi vahel. Spaakeskus on jaotatud nelja basseiniseadme vahel, mille teenindustsoonid omavad erinevaid iseärasusi.

Veebilansi koostamiseks ning basseinide filtrite pesuvee koguse hindamiseks viidi kahte erinevat meetodit võrreldes läbi analüüs. Sisekliima analüüsi käigus anti soovitusi sisekliima parandamiseks, mida ka reaalsuses rakendati. Probleemid tulenesid peamiselt basseiniseadmete mitte-ettenähtud seadesuurustest ning seadmete kontrollerite liiga tundlikest tehase sätetest, mis tekitasid häireid. Kokkuvõttes on sisekliima spaakeskuses paranenud ning niiskuskahjustuste tekke oht välistatud. Analüüsiti ka sisekliima esimese perioodi mõõdistusega ühtivaid niiskuseraldiste mõõdistusi.

Spetsiifilisemate järelduste loomiseks uuriti basseiniseadmete juhtautomaatika toimimist ja analüüsiti seadmete tööparameetreid. Üheaegselt teostati mõõtmised basseiniseadme heitõhukanalis, mõõdeti kogu- ja staatilist rõhku ning heitõhu soojusniiskuslikke parameetreid. Mõõtetulemuste alusel hinnati heitõhu soojusvõimsuslik potentsiaal, mis oli antud mõõteperioodil märkimisväärses suurusjärgus (180...460 KW) ning andis aluse heitõhu aasta potentsiaali välja selgitamiseks aastabilansis.

Kogutud informatsiooni põhjal loodi basseiniseadme mudel simulatsiooniprogrammis IDA ICE. Kasutades lisarakendust „Ice rinks and pools“ sisestati hoone mudelisse ka basseinpinnad koos mõõdistuste ja tarbimisandmetega kokku sobivate aurustumisnäitajatega. Simulatsioonimudelisse sisestati ka vastavatele mõõdistustele toetuvad andmed ning kasutusgraafikud, et hinnata basseinide katmise ning basseinide filtrite pesu-, ja duššide hallvee soojuslikku potentsiaali aastabilansis.

Simulatsiooniga loodi tarbimisandmetega kalibreeritud spaakeskuse energiabilanss, millest lõviosa moodustas basseinküte. Eraldi koostati basseinkütte energiabilanss, kus täpsustati energiakulu aurustumiseks tarvilikule faasi ülekandele, ilmsele soojuseraldusele basseinpinnalt, basseinide filtripesule ja soojuskaole läbi välispiirete. Enamus basseinkütte soojusest kulub aurustumisprotsessi faasi ülekande peale. Aurustumisprotsessist koostati niiskusbilanss, kus toodi välja niiskuseraldised basseinpindadelt. Lisaks loodi graafik, kus on välja toodud aasta bilansis keskmist niiskuseraldis tunnis ruutmeetri basseinpinna kohta.

Hoone Energiaefektiivsuse tõhustamiseks toodi välja kolme uuritud meetodi soojuslik potentsiaal 2019. aasta põhjal. Basseinide filtripesu ja duššide hallvee soojuslik aasta potentsiaal on vastavalt 220,7 MWh ja 254,8 MWh. Basseinide öine katmine SV4 teenindustsoonis hoiaks kokku 175,8 MWh soojusenergiat, 15,65 MWh elektrienergiat ning 178,6 m³ veekulu. Suurim potentsiaal basseiniseadmete heitõhul, kui heitõhu soojusliku potentsiaali arvestamisel valida alumiseks entalpiaks 27,8 KJ/kg_{kõ} (10 °C ja 90% juures), on 3780 MWh. Põhiliselt tuleneb potentsiaal suvekuudest, kui jahutusvajadus ei luba kompressoril töötada. Juunist augustini on heitõhu soojuslik potentsiaal kuus keskmiselt üle 450 MWh. Talveperioodil novembrist märtsini jääb heitõhu soojuslik potentsiaal alla 200 MWh kuus. Soojusvõimsus pole pidev, kõikudes ööpäeva jooksul märkimisväärselt (LISA 10 Heitõhu ööpäevane soojusvõimsuse jaotus) aasta lõikes vahemikus 0,100...1,400 MW.

Autor soovib tulevikus süvitsi uurida kõrgete niiskuseraldistega hoone heitõhu potentsiaali ära kasutamise tehnoloogiaid. Kokkuvõttes on suure soojusniiskusliku potentsiaaliga hoone puhul soovituslik pöörata kõrgendatud tähelepanu energiatõhususele ning uurida energiatõhustavaid tehnoloogiaid põhjalikult juba projekteerimisfaasis. Soovitav on ka rohkete erisuste ja süsteemidega objekti puhul välja arendada hooneautomaatika süsteem, mida on süsteemide häälestamisel kasutajasõbralik hallata ja kust on võimalik laiemalt erinevate süsteemide parameetreid konkreetsetel ajavahemikel sünkroniseeritult logida.

CONCLUSION

The thesis focuses on Mustamäe Elamuste keskus, a 920 m² spa-sauna centre that encompasses pool surfaces with different temperatures and heating systems. The 11 main pool areas are divided among 7 different pool heating systems. The thermal centre is divided between 4 swimming pool air management units.

In order to evaluate the water balance and estimate how much water flows through the pool filters, comparative analysis using two different methods was performed. Additionally, an indoor climate analysis was performed to find and suggest improvements. The main problems found by the analyses were nonconforming control parameters and excessive sensitivity of the systems' controllers that activated additional alarms. The suggestions have been acted upon due to which the climate condition in the spa has improved significantly, thus eliminating the risks of moisture damage to the building. This has been proved by the comparison of climate measurements from before and after the improvements. Furthermore the analysis of the first periods' records of pools' moisture release were also conducted.

Moreover, the pool systems' control logic and functioning were analysed. During this, additional measurements of air parameters in the ventilation system's exhaust air channels were performed. The total- and static pressure, as well as temperature- and relative humidity parameters were measured. The analysis with the additional measurement data proved that the exhaust air contained a significant amount of wasted energy. This amounted to 180...460 kW during the measurement period. The discovery prompted a more in depth look into the yearly potential of the lost heat energy from the exhaust air of the ventilation system.

The previously obtained information was used to create a model in the simulation program IDA ICE. The tool for ice rinks and pools was used to insert pool surfaces into the building model. Previous measurement data was used in the model with additional information such as the building exploitation times. The model and the data were used to evaluate the effectiveness of covering the pools during off-hours, the yearly lost thermal potential of pool filter washing water and shower grey water.

Annual energy balance was created using the simulation software, where pool heating system holds the decisive role. Additionally, a pool heating energy balance was created, which specified the energy amounts for evaporation, convection, conduction and filters' washing water. The vast majority of pool heating energy is consumed by evaporation process. From the evaporation process, the moisture separation balance was constructed, which highlights moisture separation from pool surfaces. In addition, a

graph was created, which shows the annual balance of the average moisture separation in an hour per square meter of pool surface area.

The thermal energy potential for the three considered methods was calculated based on the year 2019 to improve the building's energy efficiency. Pools' filter washing water and showers' grey water one years' thermal potential are 220,7 MWh and 254,8 MWh accordingly. Covering of the pool surface for off-hours in SV4 operational area would save 175,8 MWh of pool heating energy, 15,65 MWh of electrical energy and 178,6 m³ of water consumption.

The greatest potential for energy savings of 3780 MWh (lower air enthalpy is 27,8 KJ/kg dry air at 10 °C and 90%) is in swimming pool air management units' exhaust air. The great potential comes mainly from summer months, where the need for cooling would not allow the compressor to operate. The thermal potential during the summer months for the exhaust air is on average more than 450 MWh/month. During winter months, it drops to around 200 MWh/month. The thermal potential of the exhaust air is also not constant (Seen in Appendix 9 Exhaust air thermal potential over a 24 h period), it varies from day to night notably. Through the year the output can vary from 0,100 MW to 1,400 MW.

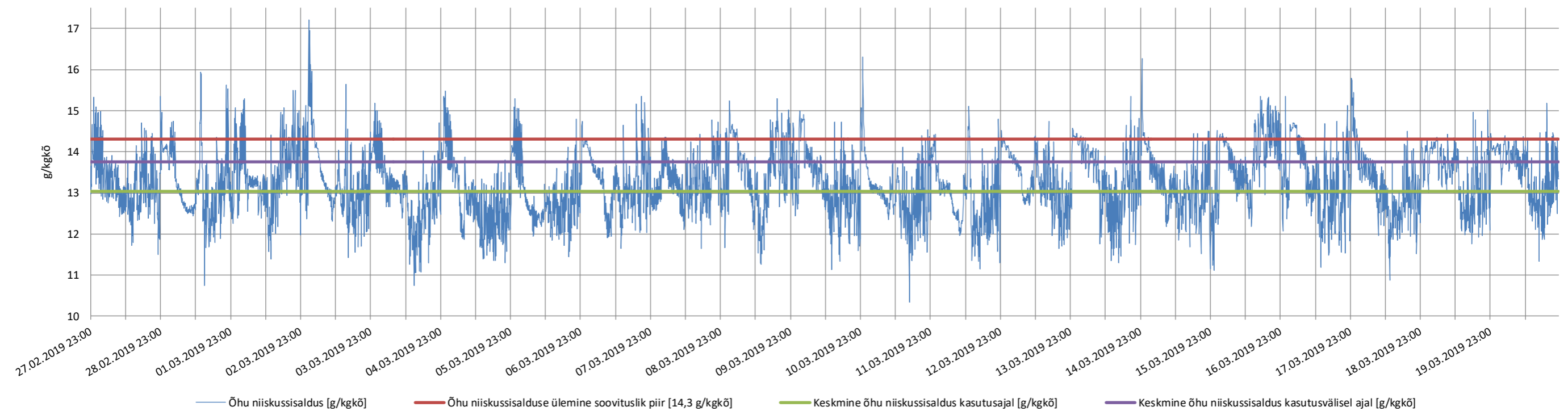
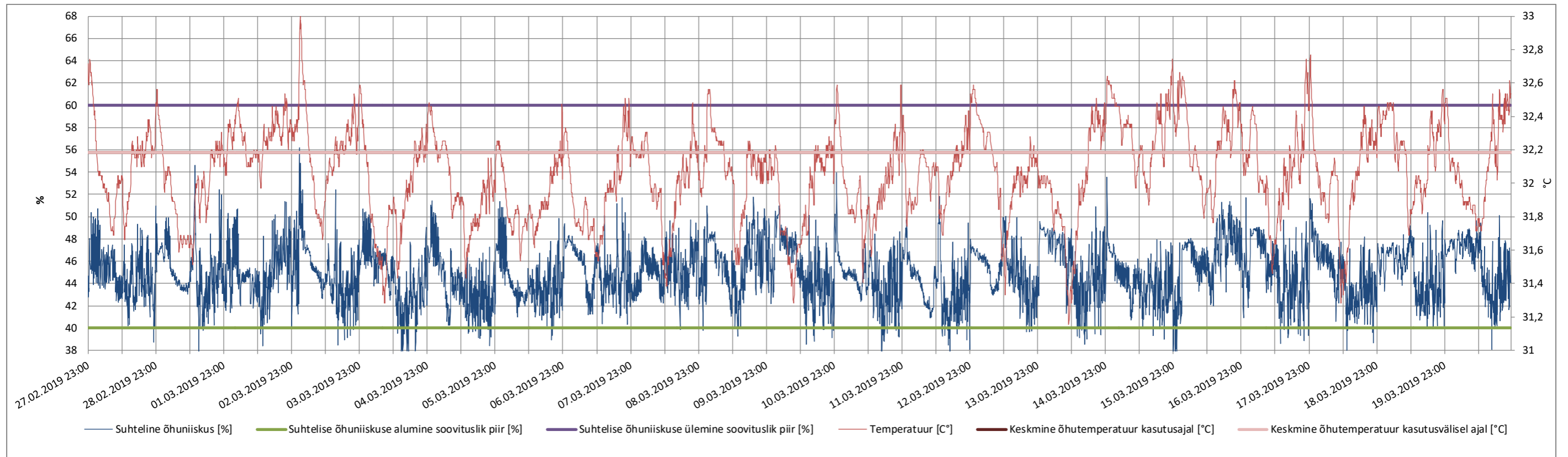
The author suggests to emphasise more on applying energy consumption reduction technologies and methods to ventilation systems' exhaust air. Buildings subject to high moisture and temperature zones most likely have a higher potential for energy savings. This potential should already be considered during the beginning of the building's lifecycle, preferably as early as the design phase. Additional efforts should also be made to create more user-friendly building automation systems, so that the building operational data would be readily available of different periods and in a synchronised way.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

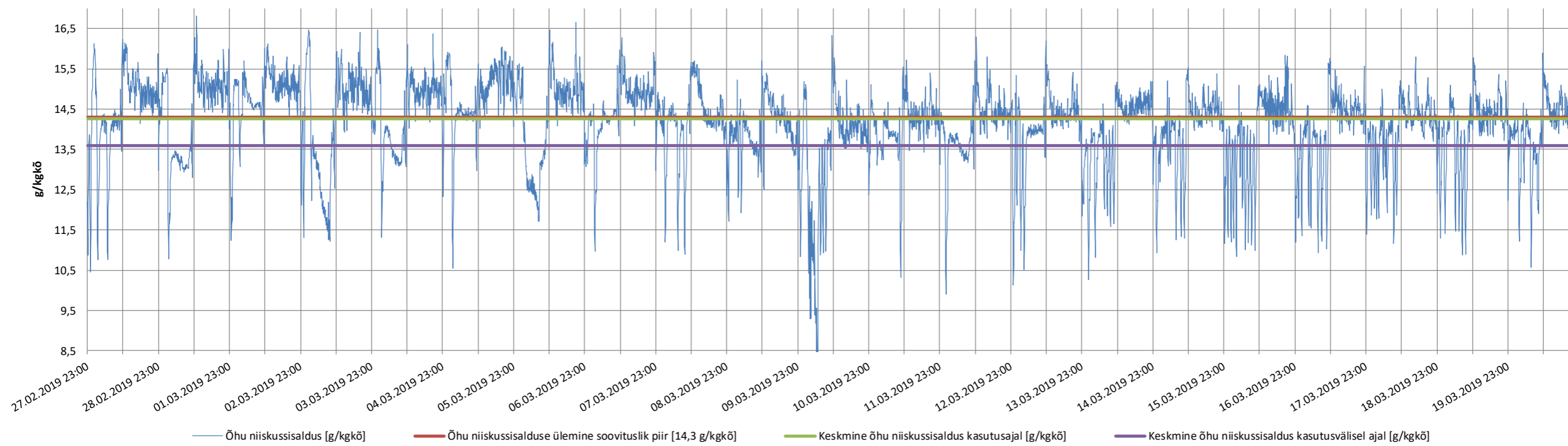
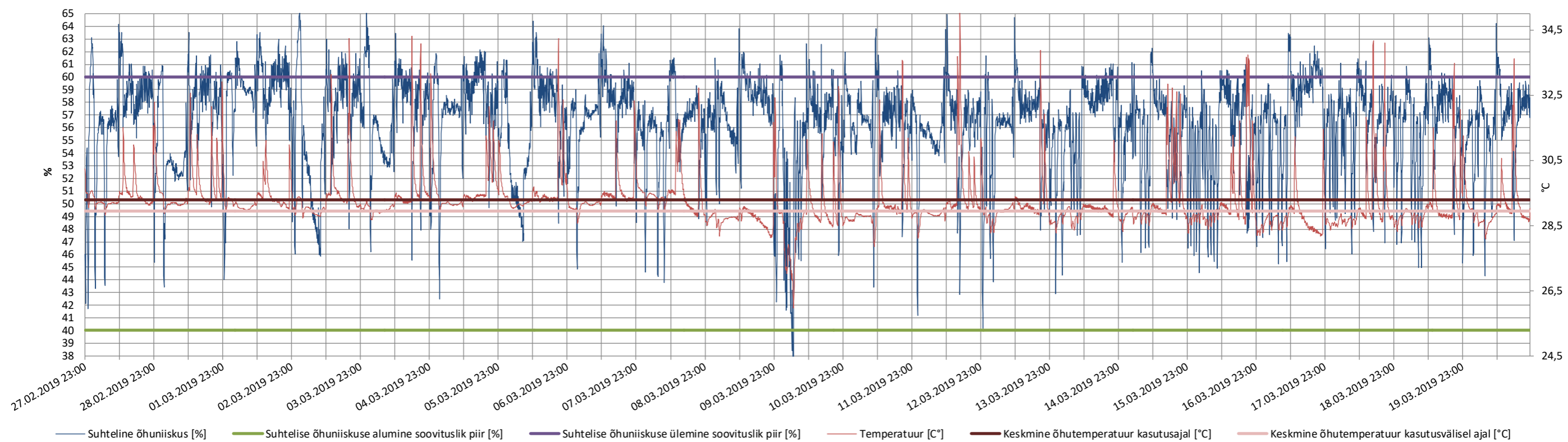
- [1] D. A/S. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dantherm.com/media/2351997/swimming-pool-dehumidification-selection-guide-low-web.pdf>.
- [2] M. GmbH. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.menerga.com/markets-applications/general-room-types/swimming-pool-public/>.
- [3] M.-L. Maripuu, *Veekeskuste ja vabaaja ujulate sisekliima kujundamine*, Tallinn, 2005.
- [4] *VDI-Richtlinie: VDI 2089 Blatt 1 Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern - Hallenbäder*.
- [5] *LVI STM-00413, Uimahallien ja kylpylöiden sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevat terveydelliset ohjeet. STTV:n oppaita 3:2008. (2009)*.
- [6] *LVI 06-10451, Uimahallien ja virkistysuimaloiden LVIA-suunnittelu. (2009, korjaus 2012)*.
- [7] W. Kampel, *Energy Efficiency in Swimming Facilities*.
- [8] *ASHRAE Fundamentals*, 2017.
- [9] *Hoonete küte (Teet-Andrus Kõiv, Aivar Rant) II trükk 2013*.
- [10] *EVS-EN ISO 13370:2017*.
- [11] A. Ots, *SOOJUSTEHNKA ALUSKURSUS*, Tallinn, 2011.
- [12] G. O. L. R. W. J. Charles C. Smith, *Rates of Evaporation from Swimming Pools in Active Use*, 2007.
- [13] I. A. A.Kull, *SOOJUSTEHNKA*, Tallinn: Kirjastus Valgus, 1974.
- [14] *ASHRAE Handbook- HVAC Applications chapter 5, Natatoriums 5.6*, 2011.
- [15] L. L.Johansson, *Energy savings in indoor swimming-pools: comparison between different heat-recovery systems*, 2001.
- [16] P. Mander, <https://carnotcycle.wordpress.com/2012/08/04/how-to-convert-relative-humidity-to-absolute-humidity/>.
- [17] T.-A. Kõiv, *ÕHU KONDITSIONEERIMINE I, TTÜ KIRJASTUS*, 2014.
- [18] K. S. J. D. Jordan Hanania, J.M.K.C. Donev et al. (2017). *Energy Education - Sensible heat [Online]*. Available: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Sensible_heat. [Accessed: April 17, 2019].
- [19] J. J. J. D. Bethel Afework, J.M.K.C. Donev et al. (2019). *Energy Education - Latent heat [Online]*. Available: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Latent_heat. [Accessed: April 17, 2019].
- [20] K.Kase, *Akadeemia tee 30 kütteprojekt*, Tallinn, 2018.
- [21] *Tervisekaitsenõuded ujulatele, basseinidele ja veekeskustele. Määrus*, 2008.
- [22] *ASTRAPOOL. Technical instruction and operational manual*.
- [23] *T&D RTR-503/503L; http://cdn.tandd.co.jp/glb/product/outline-spec_rtr500-dataloggers-eng.pdf#page=2..*
- [24] *T&D RTR-576; http://cdn.tandd.co.jp/glb/product/outline-spec_rtr500-dataloggers-eng.pdf#page=2..*

- [25] *Mobile Base Station RTR-500MBS-A*; http://cdn.tannd.co.jp/glb/product/outline-spec_rtr500mbsa-eng.pdf.
- [26] *HOBO Data Logger U12-011*; <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-011>.
- [27] *Spaakeskuse veenäitute kuuraport*, Tallinn: Elamus SPA, 2019.
- [28] Honeywell, *EAGLE WEB INTERFACE, USER GUIDE EN2Z-0970GE51 R1112*, 2012.
- [29] „Testo 440 digital probes,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://static-int.testo.com/media/65/47/98fc20b6d08b/testo-440-brochure-EN.pdf>.
- [30] „Veris Industries differential pressure transmitter,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://res.cloudinary.com/controlconsultants/raw/upload/v1464717869/pdf/veris/PX_Series_pds.pdf.
- [31] T. Kopli, Interviewee, *Dantherm basseiniseadmete Eesti tarnija konsultatsioonid*. [Intervjuu]. 2019.
- [32] T. Kopli, *DanX XWPS, XWP tööpõhimõte.pdf*.
- [33] T. Kopli, *DanX MVC-80 kontrolleri kasutusjuhend*.
- [34] D. GROUP, *Controls DanX MVC Pool*, 2016.
- [35] *Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika*, 2015.
- [36] U. Kallavus, *Sisekliima- ja bioloogiliste riskide määramise analüüs*, Tallinn, 2019.
- [37] F. Asdrubali, *A scale model to evaluate water evaporation from indoor swimming pools*, 2008.
- [38] http://cdn.tannd.co.jp/glb/product/outline-spec_rtr500-dataloggers-eng.pdf#page=2.
- [39] F. Asdrubali, *A scale model to evaluate water evaporation from indoor swimming pools*.
- [40] L. W. L. Johansson, *Energy savings in indoor swimming-pools: comparison between different heat-recovery systems*, 2001.
- [41] *EAGLE Web Interface. USER GUIDE*, Honeywell Inc.

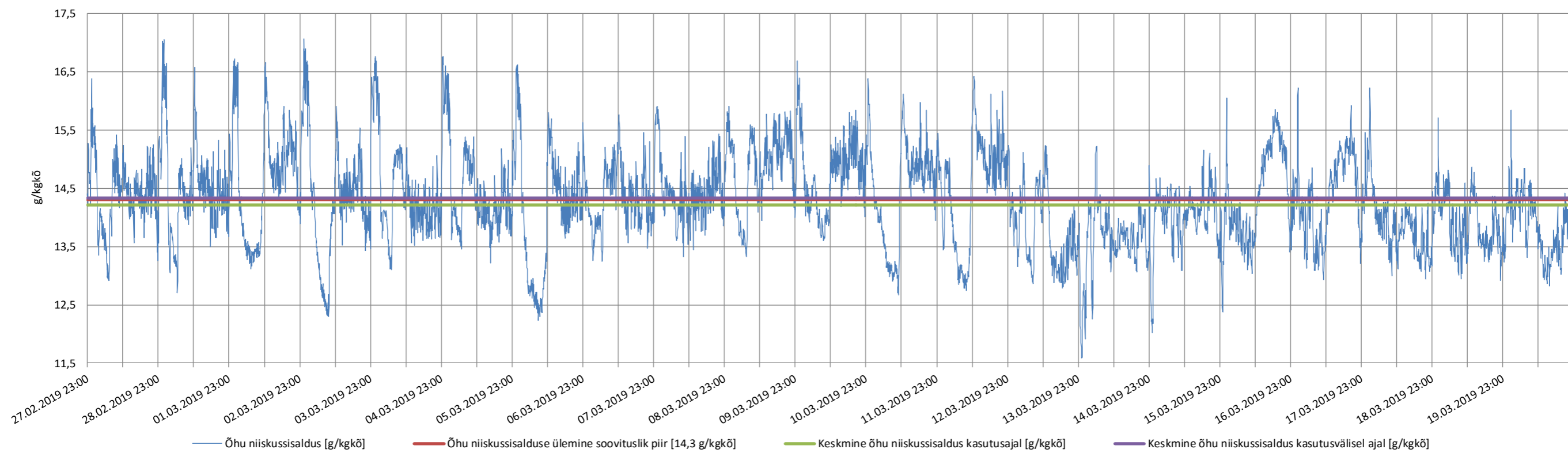
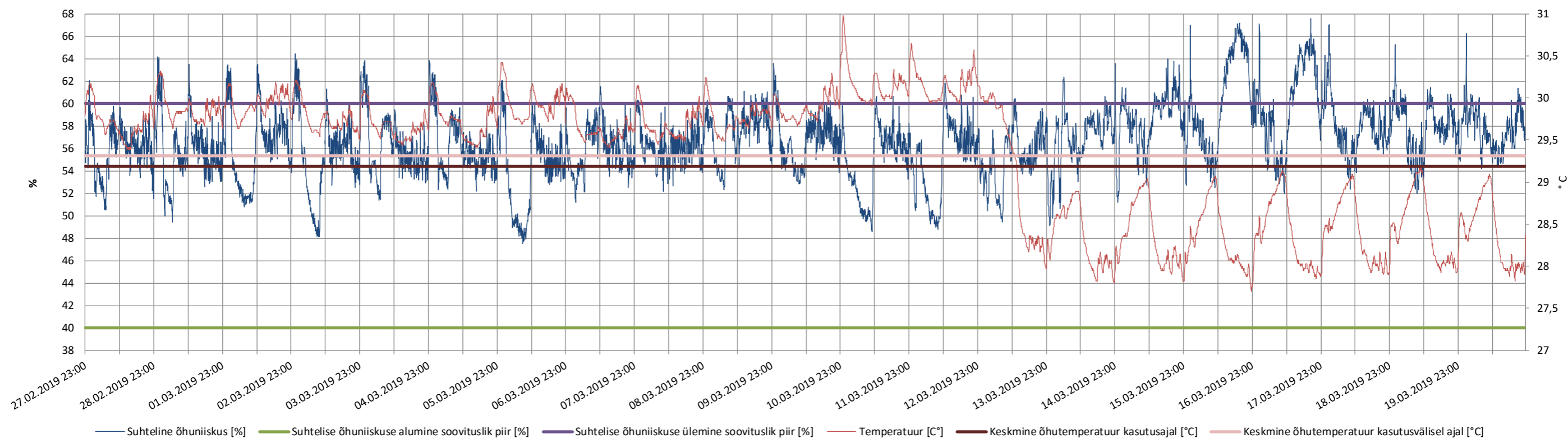
LISAD



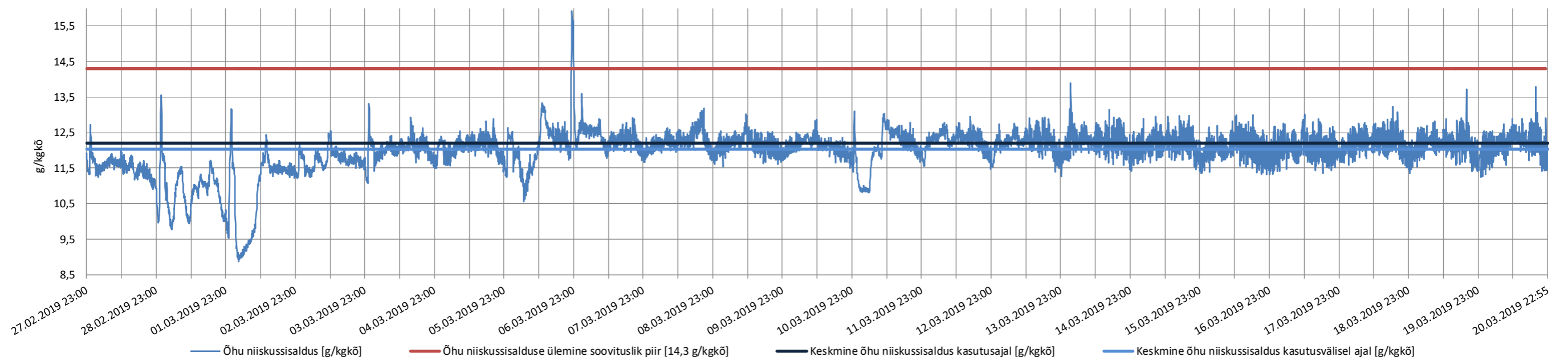
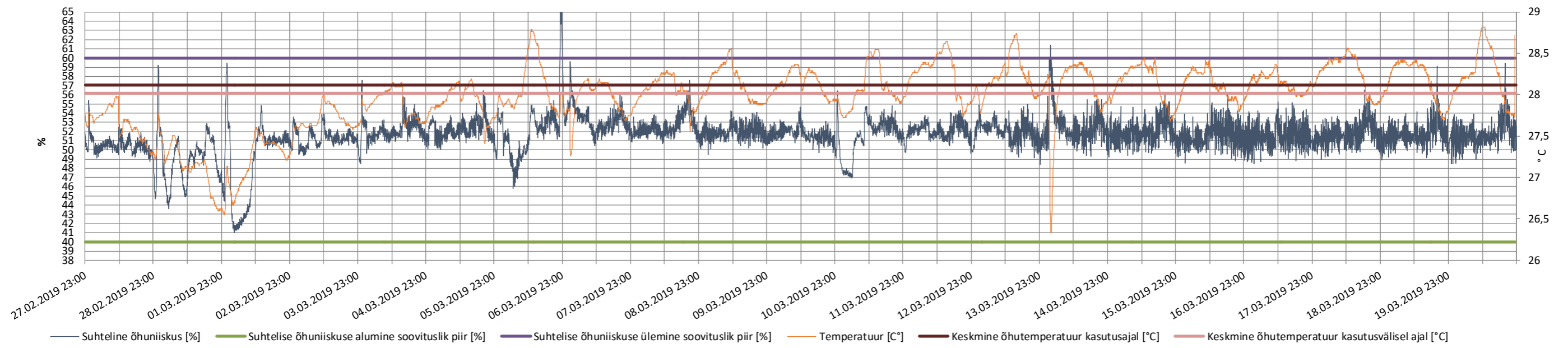
LISA 1 Õhutemperatuur, suhteline niiskus ja õhu niiskussisaldus basseiniseadme SV1 teenindustsoonis



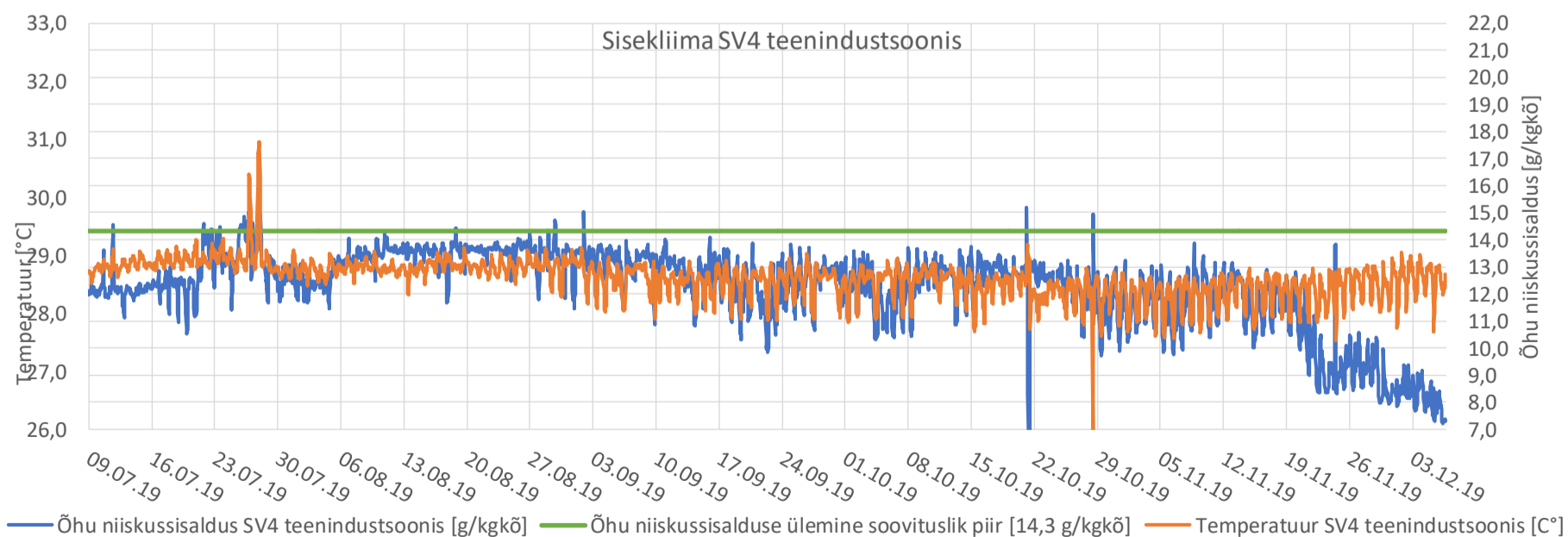
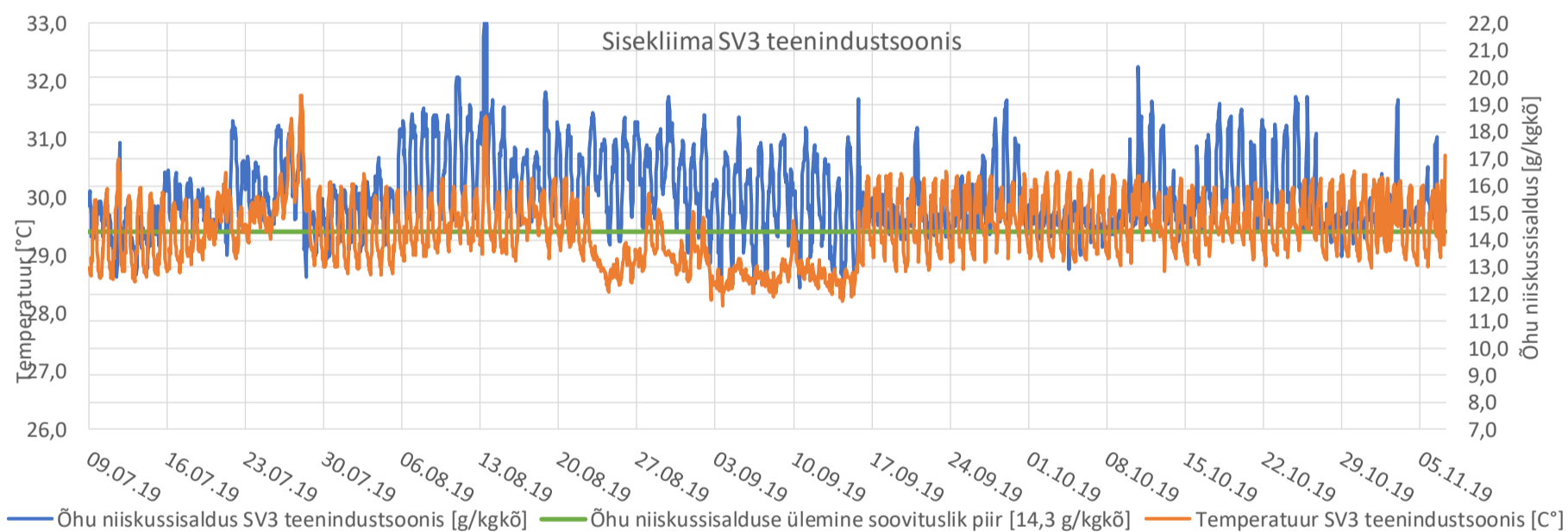
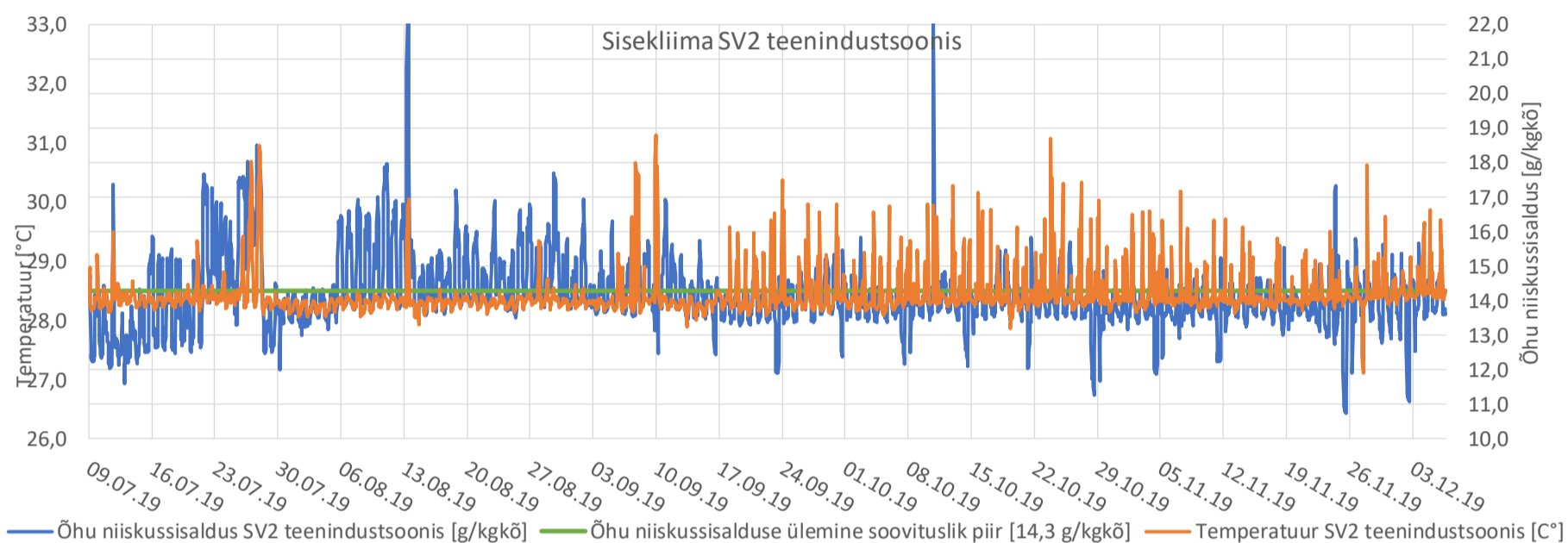
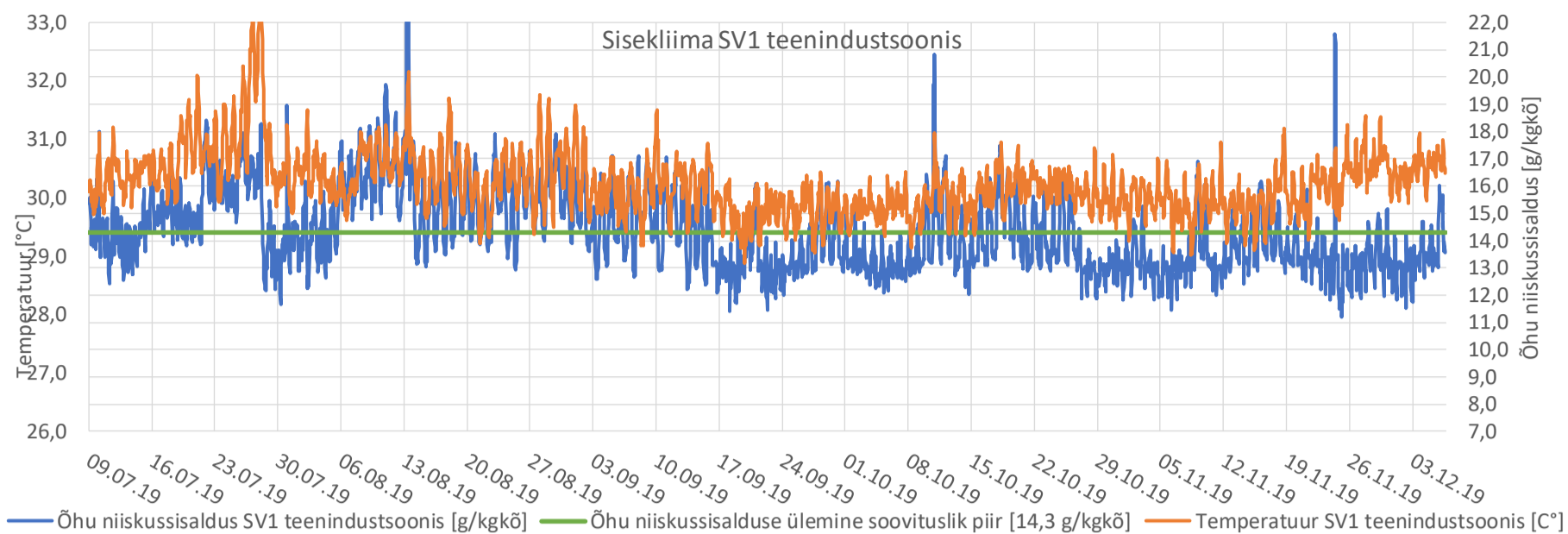
LISA 2 Õhutemperatuur, suhteline niiskus ja õhu niiskussisaldus basseiniseadme SV2 teenindustsoonis



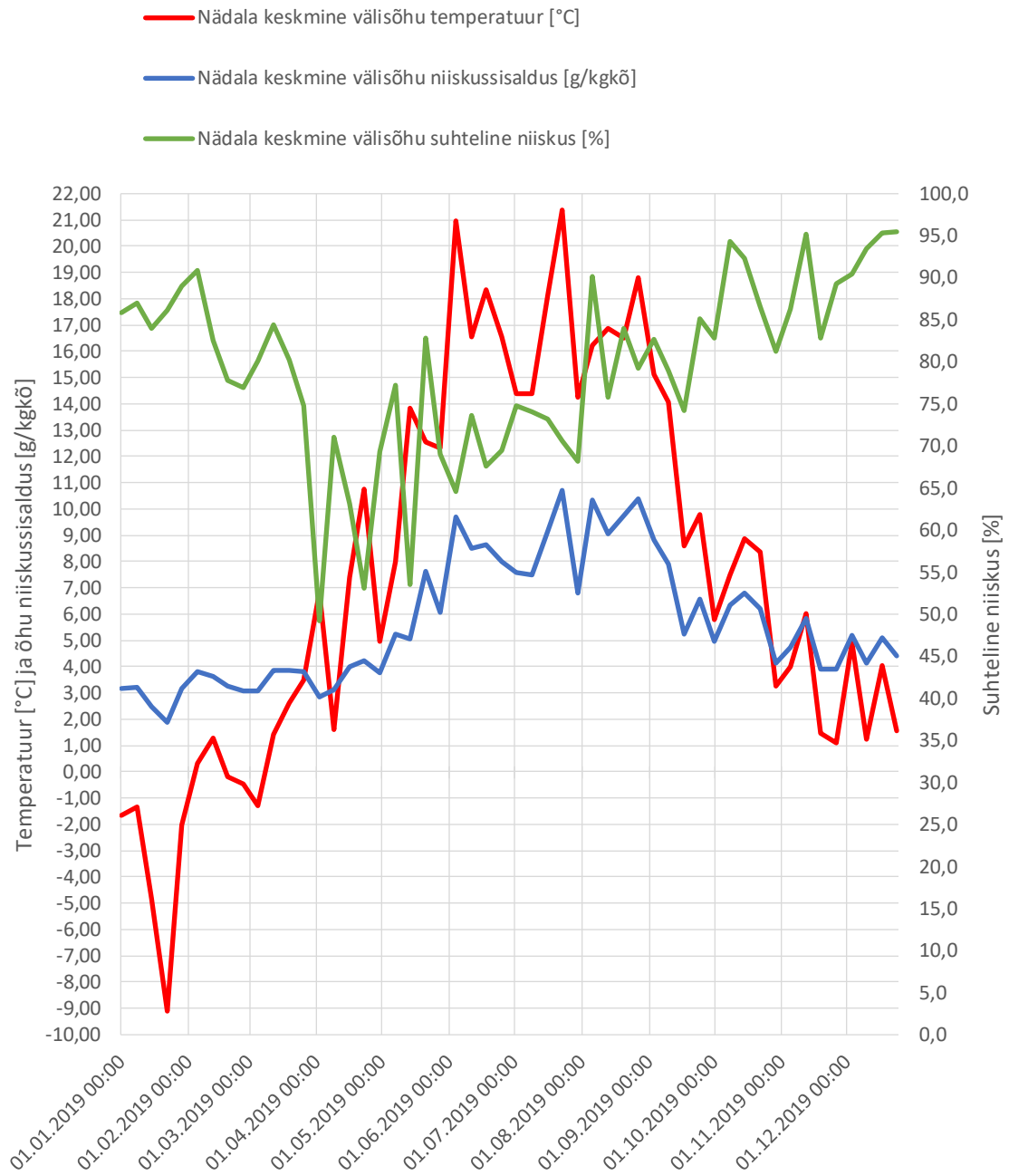
LISA 3 Õhutemperatuur, suhteline niiskus ja õhu niiskussisaldus basseiniseadme SV3 teenindustsoonis



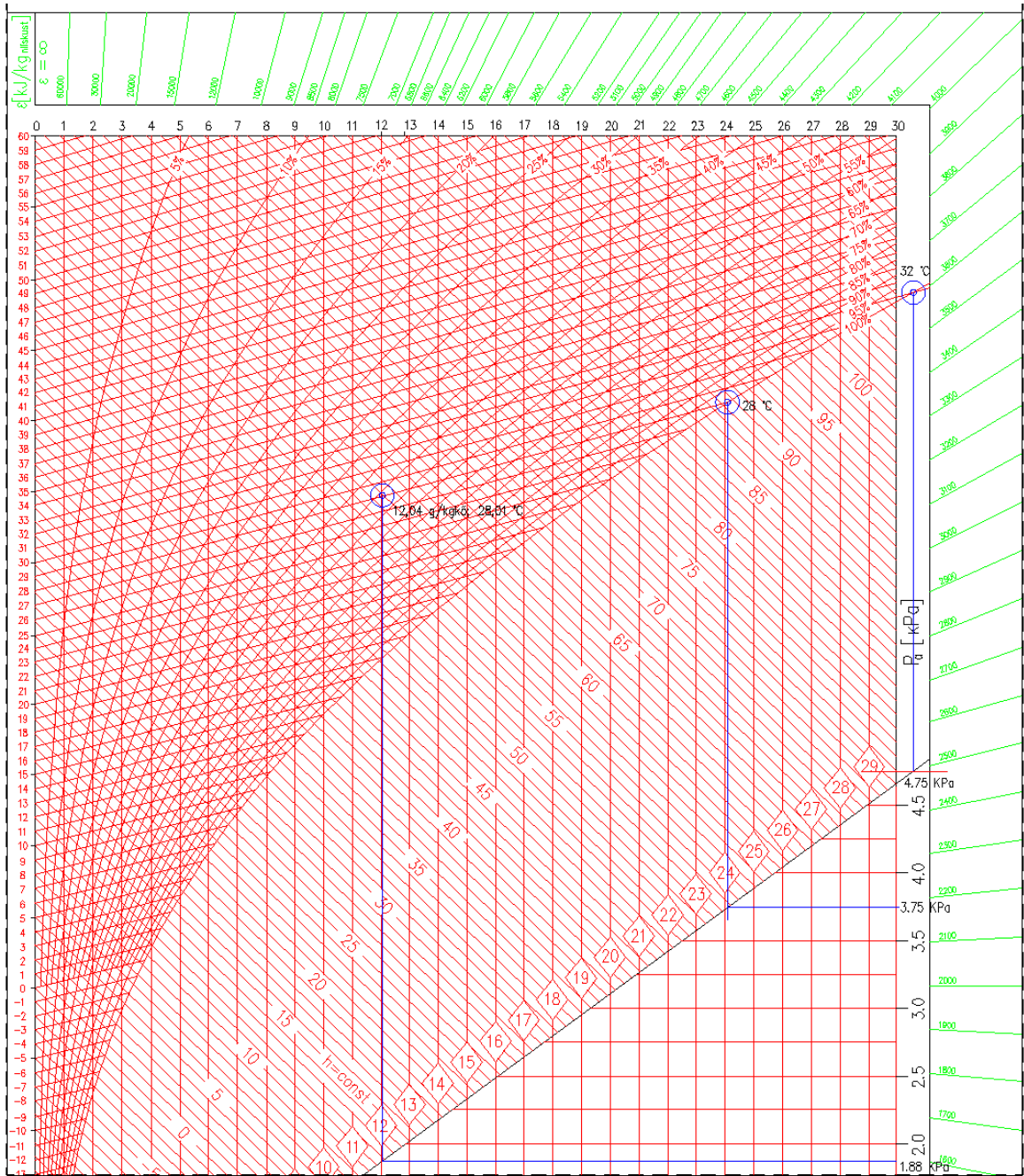
LISA 4 Õhutemperatuur, suhteline niiskus ja õhu niiskussisaldus basseiniseadme SV4 teenindustsoonis



LISA 5 Õhutemperatuur ja niiskussisaldus SV1, SV2, SV3 ja SV4 teenindustsoonides mõõdistusperioodil 09.07.19...07.12.2019

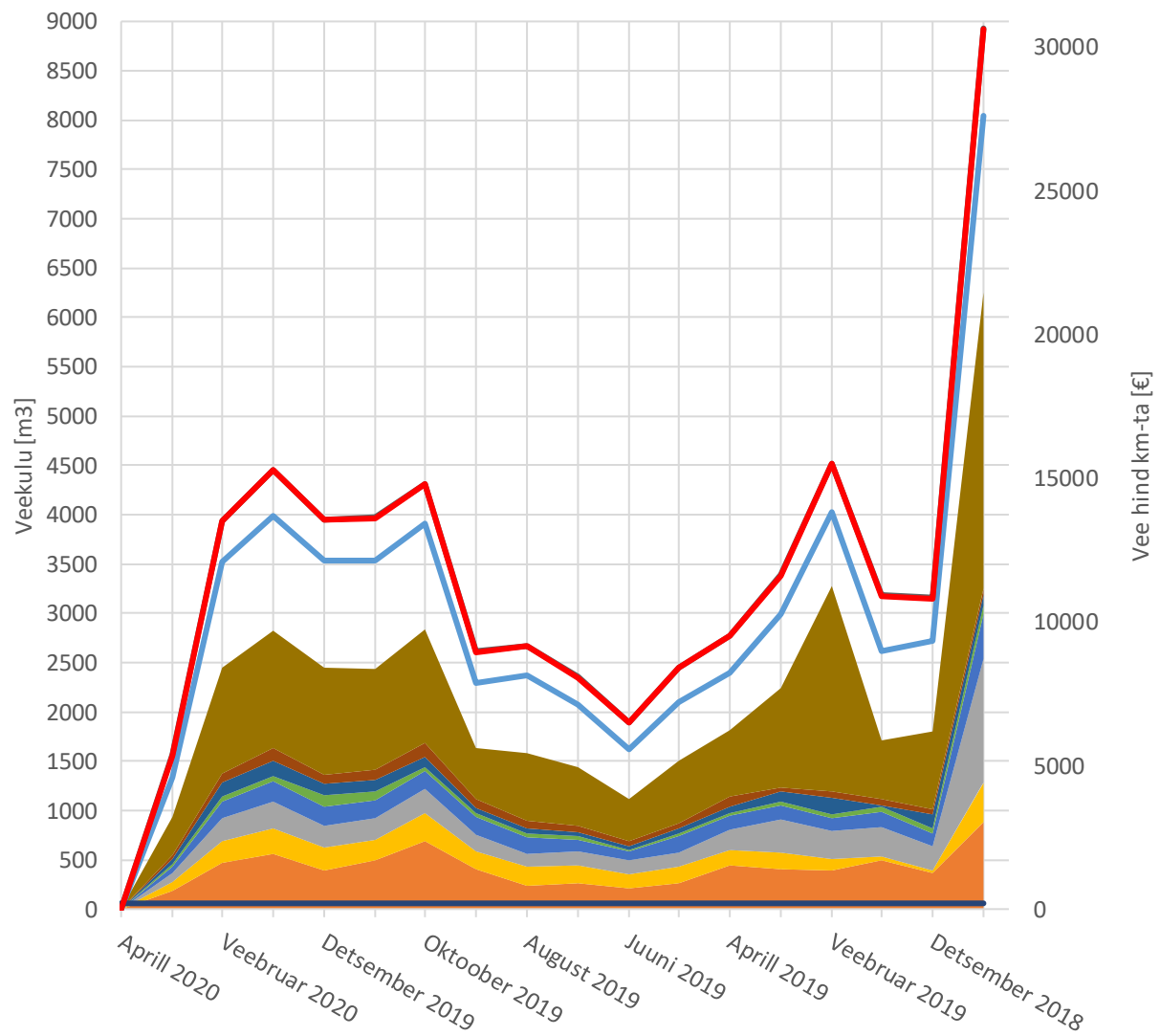


LISA 6 2019. aasta nädala keskmine välisõhu temperatuur, niiskussisaldus ja suhteline niiskus.

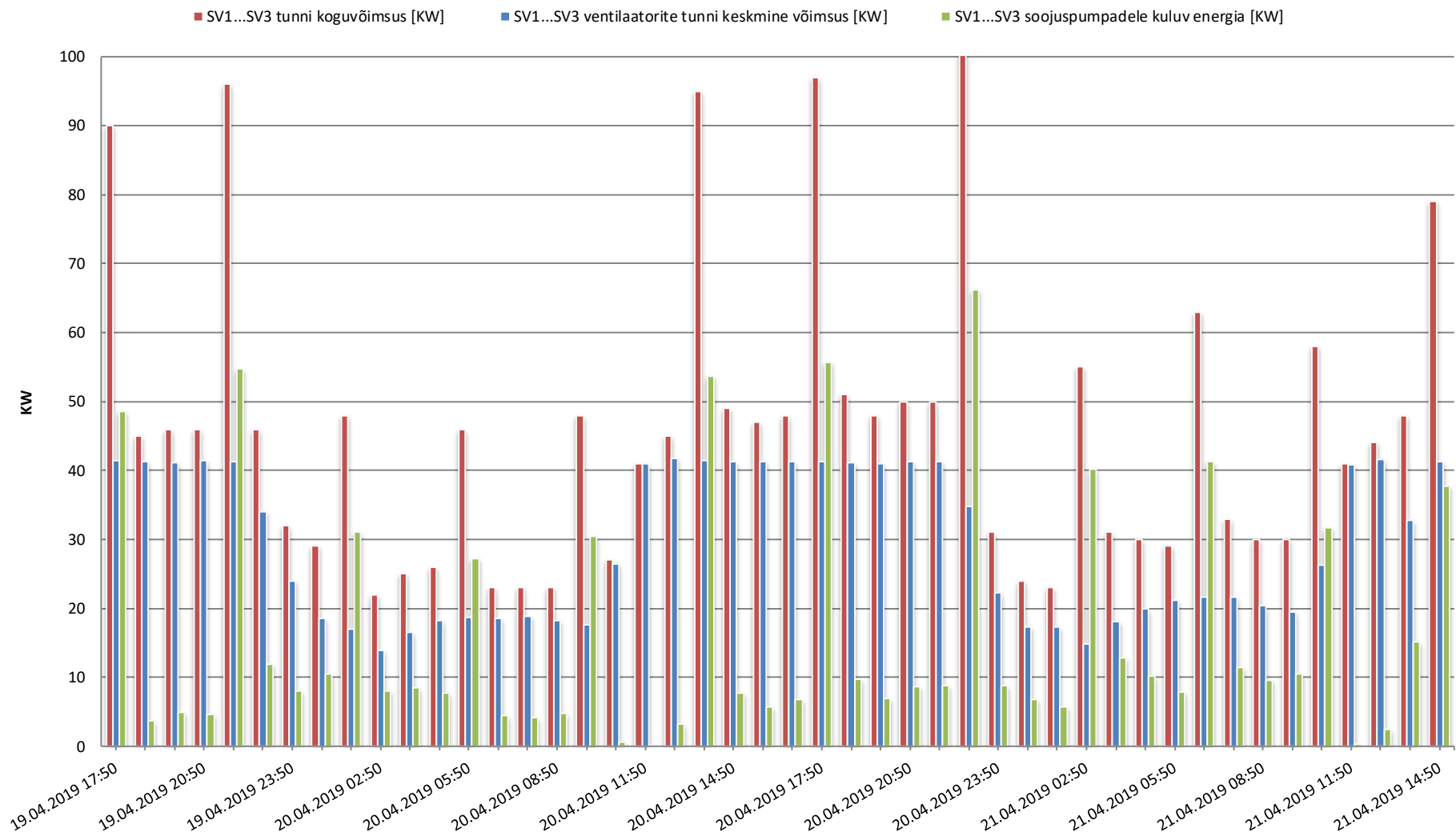


LISA 7 Partialrõhud h-x diagrammi

- Spaakompleksi dušid kokku
- Perespaa mullivannid 36 °C; 11,5 m²
- Perespaa Jaapani bassein 42 °C; 15 m²
- 21+ Jaapani bassein 42 °C; 10 m²
- Basseinid 33 °C (131m² 21+ suur bassein; 37 m² Perespaa laste ringvool; 6 m² õue mullivann)
- 17810276 - SPA filtrite pesu (Sport28)
- 17810265 - SPA filtrite pesu (21+mullivann ja lastemängu)
- 17810832 - SPA filtrite pesu (Perespaa32)
- Spaakompleks kokku
- Hoone kokku
- Keskmine niiskuseraldus läbi õhuvahetuse
- Hind kokku

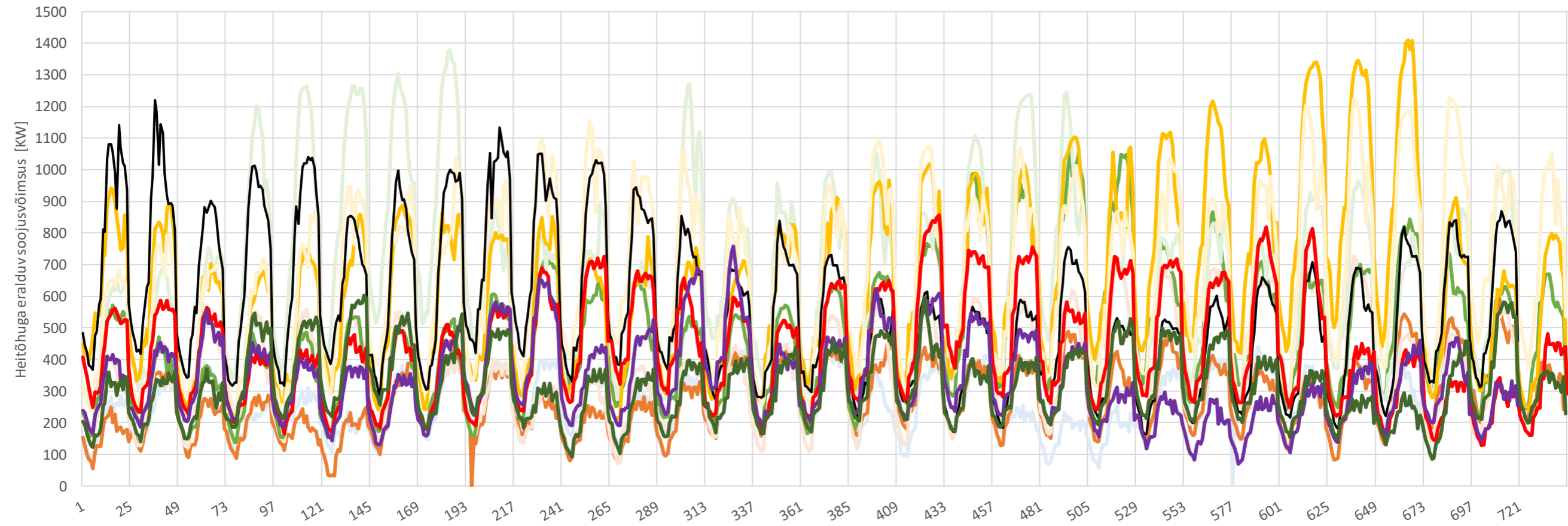


LISA 8 Spaakeskuse veekulu tarbimisandmed



LISA 9 Basseiniseadmete SV1...SV3 keskmised elektrilised võimsused

- Jaanuari kasutatav summaarne võimsus basseiniseadmete väljaviskes [KW]
- Veebruari kasutatav summaarne võimsus basseiniseadmete väljaviskes [KW]
- Märtsi kasutatav summaarne võimsus basseiniseadmete väljaviskes [KW]
- Aprilli kasutatav summaarne võimsus basseiniseadmete väljaviskes [KW]
- Mai kasutatav summaarne võimsus basseiniseadmete väljaviskes [KW]
- Juuni kasutatav summaarne võimsus basseiniseadmete väljaviskes [KW]
- Juuli kasutatav summaarne võimsus basseiniseadmete väljaviskes [KW]
- Augusti kasutatav summaarne võimsus basseiniseadmete väljaviskes [KW]
- Septembri kasutatav summaarne võimsus basseiniseadmete väljaviskes [KW]
- Oktoobri kasutatav summaarne võimsus basseiniseadmete väljaviskes [KW]
- Novembri kasutatav summaarne võimsus basseiniseadmete väljaviskes [KW]
- Detsembri kasutatav summaarne võimsus basseiniseadmete väljaviskes [KW]



LISA 10 Heitõhu ööpäevane soojusvõimsuse jaotus