



**LUBJA 4 KOHTUMAJA  
PILOOTPROJEKTI  
LÕPPRAPORT**

28.05.2020

DAGMAR TEPPE

ENERGIATÕHUSUSE PROJEKTIJUHT

DAGMAR.TEPPE@R8TECH.IO

R8 TECHNOLOGIES OÜ

## Sisukord

Eessõna.....	3
1. Sissejuhatus .....	5
2. Lubja 4 Hoone ja programm „Digitaalne Operaator“ .....	6
2.1. Hoone tehniline ülevaade .....	6
2.2. R8 programm „Digitaalne Operaator“ .....	7
3. Ülevaade tehtud Testprojektist.....	10
3.1. Hoone integratsioon.....	10
3.2. Diagnostika .....	14
3.3. Juhtimine ehk „Autopiloodi“ rakendamine .....	16
4. Saavutatud tulemused .....	19
4.1. Ühendus automaatikasüsteemiga ning selle stabiilsus .....	19
4.2. Diagnostika .....	21
4.3. Energia kokkuhoid .....	23
4.4. Sisekliima .....	31
4.5. Kliendi rahulolu .....	35
5. Järeldus.....	36
5.1. Süsteem ja erinevad liidestamise võimalused.....	36
5.2. Kasu erinevatele osapooltele .....	37
5.3. Tasuvus.....	37
6. Kasutaja tagasiside.....	40
Kokkuvõte.....	43
Summary .....	44
LISAD .....	<a href="#">4645</a>
Lisa 1 – R8 BIM andmesisu nõuded.....	<a href="#">4645</a>
Lisa 2 – Diagnostika raport.....	<a href="#">4948</a>

# EESSÕNA

Riigi Kinnisvara AS on projektipartneriks Interregi Läänemere regiooni koostööprojektis "EFFECT4Buildings" (<http://www.effect4buildings.se/>), mille eesmärk on suurendada Läänemere piirkonnas olemasolevate avalike hoonete rakendatud energiatõhususe meetmeid. Sihtrühmaks on avalik-õiguslikud kinnisvaraomanikud, kes on teadlikud tehniliselt võimalikest tegevustest ja arvutustest näitamaks investeeringute kasumlikkust, kuid ei suuda neid rakendada finantsbarjääride tõttu.

Projekti tulemuseks on rahastamismeetodid, mis võivad parandada kasumlikkust, hõlbustada rahastamist ja vähendada avaliku kinnisvara investeeringute riski. Vahendite näited on tasuvusarvutused, tegevuspaketid, EPC (energiateenus), multifunktsionaalsed kokkulepped, rohelised rendid ja majanduslikud mudelid üheaegselt energia tootmiseks ja tarbimiseks.

Riigi Kinnisvara AS testis tehnoloogiliste lahenduste tööriista all kahte energiamonitooringu teostamise võimalust, mille eesmärk on hallata energiatõhusalt suurt hooneportfelli ning mõõta energiatõhususprojektiga saavutatud energiasäästu.

Kõik uued mitteeluhooned omavad mingisugust hooneautomaatikasüsteemi, mille eesmärk on hoone kliimasüsteemide (näiteks ventilatsioon, küte, jahutus) automaatjuhtimine. Hooneautomaatikasüsteemide juhtarkvarad ei ole üldjuhul pilvepõhised, kuna hoonete kliimasüsteemid peavad toimima ka olukorras, kus side ei ole hoonega tagatud. Üldjuhul süsteemid töötavad etteantud automaatrežiimil aastaid. Ajamahukas on ka selliste lahenduste tasuvusanalüüsi tegemine peale energiatõhususmeetme rakendamist.

Käesoleva testprojekti eesmärk oli testida ja analüüsida pilvepõhist tarkvara ühel täisautomaatse hooneautomaatikasüsteemiga varustatud hoonel, kus on lisaks tavapärasele kliimasüsteemide automaatikale integreeritud süsteemi ka ruumikliima koos ruumi valgustuse juhtimisega. Testprojektiga otsisime tarkvaralahendust, mis võimaldaks pilvepõhise platvormi abil teostada hooneautomaatikasüsteemi automaat-diagnostikat (antud hoones on ca 48 000 erinevat andmepunkti, mille operaatori abil tehtav diagnostika on liialt pealiskaudne ja väga aeganõudev). Lisaks diagnostikale või automaatikasüsteemi auditile soovisime, et tarkvara oleks võimeline ka lokaalsüsteemi parameetreid muutma, et lokaalsüsteem töötaks energiatõhusamalt, ehk oleks võimeline teostama ka pilvepõhist automaatjuhtimist tehisintellekti abil.

Testprojekti peamine väljakutse ja soov oli saada vastused alljärgnevatele küsimustele:

- Kas pilvepõhine tarkvara on kasutatav ja kas lokaalsed hooneautomaatikasüsteemid on ühildatavad pilvetarkvaraga?
- Kas lisatarkvara lihtsustab hoone tehnilise- ja halduspersonali tööd ja tõstab sisekliimajuhtimise kvaliteeti (suurendab sisekliima rahulolu)?
- Kas lisatarkvara võimaldab täiendavat energia kokkuhoidu ja on energiatõhususmeetmete rakendamisel võimeline mõõtma saavutatud säästu?
- Kui töökindel on pilvetarkvara abil hoone kliimasüsteemide juhtimine?
- Kas lisatarkvara kasutamine on majanduslikult otstarbekas?
- Kas ja millised hoones kasutatud tehnoloogilised lahendused on kulutõhusad ja töökindlad?

Käesolev testperioodi raport annab täpsema ülevaate teostatud tegevustest ja saavutatud tulemustest. Peatükis 4 on võimalik tutvuda ka hoone tehnilise ja halduspersonali otsese tagasisidega programmi kasutusmugavuse võimaliku lisaväärtuse kohta igapäevase töö tegemisel.

# 1. SISSEJUHATUS

Käesolev raport sisaldab endas EFFECT4Building raames teostatud hooneautomaatika diagnostika, optimeerimise ja energiamonitooringu tarkvara testimise kokkuvõtet büroohoones Lubja 4, Tallinn.

Antud raport kirjeldab R8 Technologies OÜ (varasema nimega ruut8 OÜ) poolt rakendatud tehisintelligentse tarkvara lahenduse R8 Digitaalne Operaator kasutusele võtmise protsessi, põhimõtteid ja saavutatud tulemusi.

Testimise eesmärgiks oli proovida ja valideerida, kas hoone automaatikast saadavate suurandmete automatiseeritud kasutamisega on võimalik:

- Tuvastada automaatselt ja detailset tehnosüsteemide tehnilisi rikkeid, mis põhjustavad ebamugavat sisekliimat, energia ülekulu ja vähendavad seadmete eeldatavat eluiga.
- Tehisintelligentse juhtimissüsteemi rakendamisel saavutada märkimisväärset kokkuvõtet ja suuremat kasutajate rahulolu võrreldes klassikalise automaatrežiimil juhtimisega.
- Suurendada tehnilise personali töö efektiivsust – automaatselt tuvastatud rikete edastus koos valideerimisega tehnilisele personalile, sh. vähendada operaatori tööd hoone automaatikasüsteemi jälgimisel ja seadistamisel, kuna operaatori ülesandeid suudavad algoritmid täita automaatselt, sh suurema täpsuse ja efektiivsusega.
- Valideerida hoone infomudeli kasutatavust hoone tehnosüsteemide halduseks ja hoolduseks.
- Kasutada tarkvara energiatõhususprojekti järgseks monitooringuks ja energiasäästu mõõtmiseks.

Täname kõik selle projekti eestvedajaid ja koostöökaaslasid!

## 2. LUBJA 4 HOONE JA PROGRAMM „DIGITAALNE OPERAATOR“

### 2.1. Hoone tehniline ülevaade

- Hoone: Lubja 4, Tallinn, Eesti. Büroohoone.
- Suurus: 25 304m<sup>2</sup>
- Ehitusaasta: 2018.
- Korruste arv: 10, sh. 7 maapealset korrust ja 3 maa-alust parklakorrust.
- Ruumide arv: 827
- Automaatikasüsteem: Desigo CC v3.0.
- Andmepunktide arv: 48 813.
- Juhitavate KVJ-seadmete arv: 2 898.
- BIM mudel: jah.

Hoones on kaks kompressorkülmajaama, mis varustavad külmaga vastavalt ventilatsiooni- ja ruumiseadmeid. Lisaks on ruumide jahutussüsteemil olemas ka vabajahutuse võimekus. Hoone soojusvarustus on lahendatud kaugkütte abil ning kokku on hoones neli erinevat küttekontuuri: soe tarbevesi, radiaatorküte, põrandküte ja ventilatsiooniküte. Hoonet teenindab ühtekokku 16 erinevat rootor- või vahesoojuskanalja-soojusagastusega ventilatsiooniseadet.

Ruumides on ruumikontrollerid, mis juhivad nii kütet, jahutust kui ka valgustust ning neid reguleerib kohapeal igaüks ise. Samuti juhivad ruumikontrollerid VAV klappide asendeid (VAV klappe pole paigaldatud kõigisse ruumidesse, neid esineb nt nõupidamisruumides). Soojusväljastus toimub radiaatorite abil v.a. esimene korrus, mis on valdavalt põrandküttel. Ruumide jahutusseadmeteks on olenevalt ruumist kas aktiivjahutustalad või puhurkonvektorid. Küttekontuuride pealevoolu temperatuuri juhitakse välisõhu temperatuurist sõltuva graafiku alusel. Kompressorjahutus on 24/7 töös ning seda aastaringselt. Ventilatsiooni puhul oli osadele masinatele rakendatud graafikud ning osad töötasid ööpäevaringselt sama moodi olenemata ruumide kasutusaegadest. Ventilatsiooni temperatuuri juhtimine oli lahendatud fikseeritud tagastuvõhu temperatuuri järgi.

## 2.2. R8 programm „Digitaalne Operaator“

R8 Technologies OÜ poolt välja töötatud järgmise põlvkonna tarkvara lahendus „R8 Digitaalne Operaator“ on suunatud ärikinnisvara tehnosüsteemide autonoomseks haldamiseks ja juhtimiseks. Programm on veebipõhine tarkvaraline täiendus olemasolevale automaatikasüsteemile (BMS-le), millega viiakse hoone tehniline juhtimine nutikate algoritmide ja suurandmete töötamise abil järgmisele tasemele. Programm töötab 24/7 hoone heaolu jaoks, mis tähendab, et see optimeerib autonoomselt hoone tehnosüsteemide tööd. Sealjuures tagatakse vastavalt kasutajate soovidele mugav sisekliima võimalikult väheste energia- ja tööjõukuludega.

R8 Digitaalne Operaator lahendus koosneb järgnevatest moodulitest:

- Integratsioon – Hoone tehnosüsteemide andmete süstematiseerimine ja talletamine.
- Diagnostika – tuvastab KVJ-süsteemide tehnilised vead, edastab need tehnilisele partnerile ja valideerib tööde teostamist.
- Autopiloot – optimeerib mudelipõhiselt KVJ-süsteemide seadearve, et kasutusajal oleks tagatud tööruumides mugav sisekliima.
- R8 kasutajaliides – annab analüütilise ülevaate hoone seisukorrast. Programmi kasutajaliidesele on võimalik ligi pääseda läbi veebisirvija (Google Chrome, Firefox jt.), mis tähendab, et hoone operaator saab internetiühenduse puhul juhtida tehnosüsteeme igast nutiseadmest ja sõltumata asukohast.
- Raporteerimine – igakuine ülevaade hoone energiatarbimisest, sisekliimast, tehnilisest seisukorrast ja muutustest (antud töös ei rakendatud).

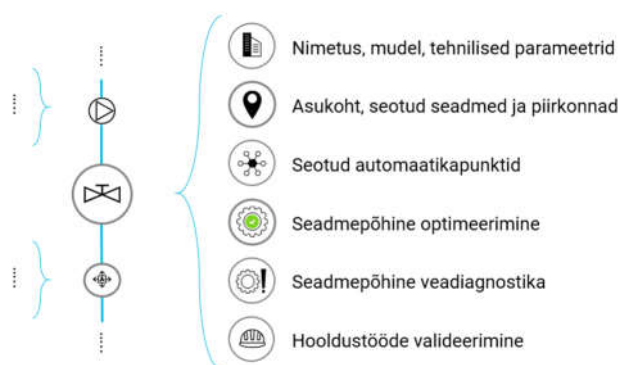
Tehnosüsteemide seadistused arvutatakse üle 4x tunnis. Juhul kui programm märkab seadme ebaefektiivset tööd, muudavad algoritmid automaatselt tööparameetreid. Tehnilise rikke korral edastavad algoritmid rikketeate tööülesandena tehnilisele hoolduspartnerile. Kõigile kasutajate soovidele ja muudatustele reageerib programm adaptiivselt.

R8 Digitaalse Operaatori algoritmid töötavad kolmest peamisest kriteeriumist lähtuvalt:

- Mugav sisekliima (vastavalt hoone kasutajate soovidele või sisekliima poliitikale)
- Energia kokkuhoid
- Tehniline korrasolu (ja pikk elukaar)

## 2.2.1. R8 süsteemi arhitektuur

R8 süsteemi aluseks on ühenduda turvaliselt hoone automaatikasüsteemiga ja koostada hoonest masinloetav süsteem (vt [Joonis 1](#)~~Joonis-1~~). Süstematiseeritud seadmepõhine arhitektuur ühendub ka hoone infomudeli ja muude kasulike infoallikate näiteks haldusplatvormidega. Sisuliselt luuakse hoonest digitaalne kaksik, mille käigus muudetakse hoonega seotud andmed masinloetavaks ja -juhitavaks. Antud projektis ühildati omavahel automaatikasüsteemi (dünaamilised) ja hoone infomudeli (staatiliselt) andmed. Infomudelist saadi hoone arhitektuurilised ning tehnosüsteemide andmed. Näiteks seadmete nimetused, mudelid ja asukohad. Dünaamilisteks andmeteks on aegridadena talletatud mõõtetulemused ja tegevustoimingud.



Joonis 1. R8 seadmepõhise masinloetava süsteemiarhitektuuri põhimõte.

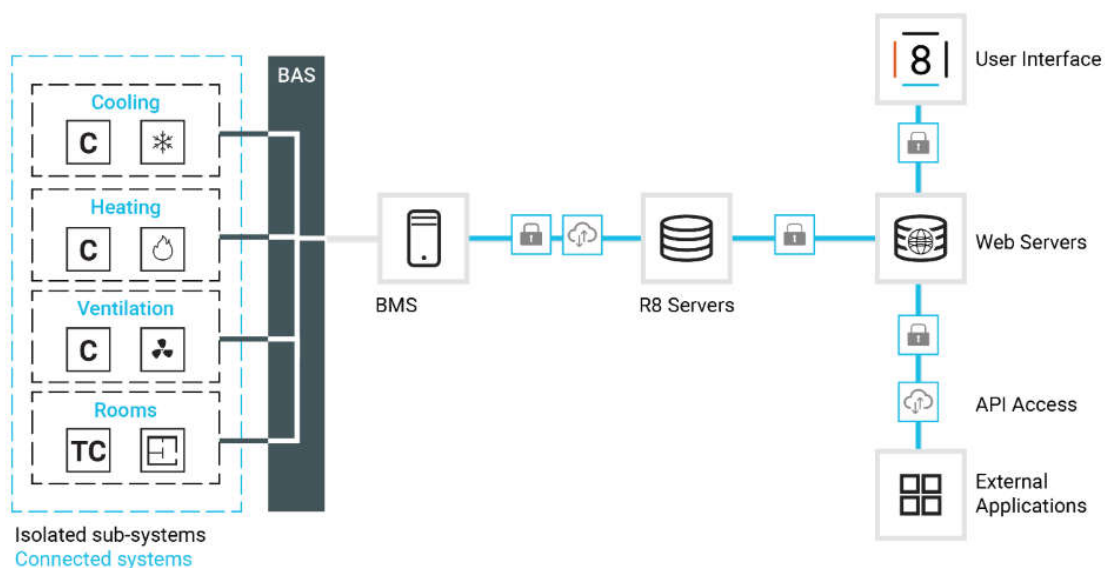
Süstematiseeritud andmete abil saab hoone käitumist tagantjärele automaatselt analüüsida ja valideerida tehtud tööd. Samuti saab nende abil leida üles tehnilised probleemid, juhtida efektiivsemalt st. mudelipõhiselt süsteemide tööd ning sealhulgas jagada vajalikku informatsiooni õigel ajal õigetele osapooltele.

R8 Digitaalse Operaatori arendusel on olnud peamine eesmärk keskenduda tarkvaralisele lahendusele, mis paigaldatakse juba olemasolevale automaatikasüsteemile n.ö. täiendavaks kihiks. Ühendamine automaatikasüsteemiga toimub uuemate hoonete automaatikasüsteemidega kaugelt ja võimalikult vähese vaevaga kõigile osapooltele.

Tsentraalse automaatikasüsteemi puhul paiknevad hoones automaatikasüsteemid ja – seadmed, mis juhivad hoone tehnosüsteeme (vt [Joonis 2](#)~~Joonis-2~~). Seadmed on ühendatud tsentraalsesse automaatikavõrku (BAS), mille kaudu jõuavad kõik vajalikud andmed hoone järelevalve keskusesse (BMS).



Hoones paiknevast BMS masinast saadetakse andmed edasi R8 serveritesse (erinevate võimalike ühenduste kirjeldused ptk. 3.1.1). R8 serverites talletatakse andmed andmebaasi ning jooksutatakse rikete tuvastamise (diagnostika) ning Autopiloodi algoritme. Veebiserveri kaudu jagatakse infot läbi kasutajaliidese veebiklientidega ning välistel rakendustel on vajadusel võimalik andmeid pärida läbi REST tarkvaraarhitektuuri laadile vastava API ligipääsupunkti ([RESTful API](#)). Veebiserveris on andmete turvalisuse tagamiseks rakendatud rollipõhised ligipääsu reeglid.



Joonis 2. R8 tarkvara hoone automaatikasüsteemiga ühendamise struktuurskeem

### 3. ÜLEVAADE TEHTUD TESTPROJEKTIST

Lubja 4 büroohoone pilootprojekt algas 2019. aasta augusti keskel ning see koosnes ühtekokku kolmest peamisest etapist: integratsioon, diagnostika ja juhtimine.

#### 3.1. Hoone integratsioon

Esimese etapi ehk integratsiooni jooksul toimus hoone automaatikasüsteemi liidestamine R8 programmiga ning algas andmekorje hoone olemasolevast automaatikasüsteemi järelevalvekeskuse (BMS) serverist. Integratsioon kujunes oodatust pikemaks kuna R8 poolt esitatud IT, automaatikasüsteemi seadistused, infomudeli ja projektdokumentatsiooni nõuded olid kõigile integratsiooniprotsessis osalejatele uued. Ühenduse saamine kohapealsesse BMS serverisse võttis 3 nädalat ning põhjused on toodud välja peatükis 3.1.1. Ülejäänud osale integratsioonist (st. süsteemi standardiseeritud arhitektuuri loomisele R8 platvormil, mis ühtib nii hoone automaatikasüsteemi, tegeliku KVJ-süsteemi seadmetega kui ka infomudeli (BIM) andmetega) kulus samuti ligi 3 nädalat (planeeritud 1 nädala asemel), sest esitatud infomudeli versioonid ei olnud piisavalt täpsed KVJ (küte, ventilatsioon, jahutus) osas (Lisa 1 – R8 BIM andmesisu nõuded).

##### 3.1.1. Automaatikasüsteemidega ühenduse loomine

Antud projekti puhul on hoones Siemens Desigo v3.0 BMS server. R8 server pärib andmeid BMS serverist paikneva Siemens'i NORIS API kaudu (Northbound Open RESTful Integration Service). Andmevahetus toimub krüpteeritud kujul üle HTTPS'i ning autentimiseks kasutatakse OAuth 2.0 protokoll. Ühendus R8 serveri ja BMS serveri vahel on loodud läbi RKAS'i VPN tunneli (PPTP).

Peamised katsumused ühenduse loomisel olid:

- **BMS arvutis API ligipääsu konfigureerimine** – API ligipääsu võimaldamiseks oli vajalik BMS arvutis asuvas Siemens Desigo tarkvaras aktiveerida ning seadistada NORIS API teenus. Selle ülesande täitmisel tekkis viivitus, sest hoone ehitajal puudus varasem kogemus antud teenuse konfigureerimisel. Esialgu ebaõnnestus API ligipääsu korrektne seadistamine, kuid koostöös R8 spetsialistidega õnnestus probleem hiljem lahendada.

- **R8 serveri ja BMS arvuti vahelise võrguühenduse loomine** – Sobiva lahenduse leidmine oli suures organisatsioonis infoturbenõuete tõttu keerukas ning võttis aega.

Lokaalse hooneautomaatikasüsteemi ja R8 serverite vahelise ühenduse loomiseks on üldjuhul kolm erinevat võimalust:

1. **Hoone automaatikavõrgu ruuteris konfigureeritakse IP filtriga portide suunamine nii, et R8 serveril oleks võimalik saata päringuid otse BMS arvutile üle interneti.**

Antud lahenduse puhul oleks kliendil täielik kontroll siseneva ühenduse üle. Hoone automaatikavõrgu tulemüüris avatakse ainult need pordid, mis on teenuse osutamiseks vajalikud ja ainult nendele välistele IPdele, mis seda teenust osutavad. Samuti on kliendil täielik kontroll, millistele masinatele ja millistele teenustele sisevõrgus on väljast juurdepääs lubatud. Võrreldes VPN tunnelile tuginevate lahendustega võib antud ühenduse negatiivseks küljeks pidada andmevahetuse lisa krüpteeringukihi puudumist, mida VPN tunnel pakub. Samas võimaldavad enamuse automaatika tarkvarad (kaasa arvatud Siemens Desigo, mis Lubja 4 hoones kasutusel) kogu andmevahetuse turvalist krüpteerimist (SSL/TLS) juba automaatika tarkvara tasemel. Sellisel juhul ei tõstaks VPN tunnel andmevahetuse turvalisust enam olulisel määral.

2. **R8 server ühendatakse hoone automaatikavõrgu VPN tunneliga.**

Juhul, kui hoone automaatikavõrgus on juba VPN teenus olemas ja konfigureeritud, siis on tegu võrdlemisi kiiresti ja lihtsasti realiseeritava lahendusega. Ühenduse võimekuse tekitamiseks on vaja lihtsalt R8'le vastav VPN kasutaja luua. Antud lahenduse nõrgemaks küljeks võib pidada turvalisust ja stabiilsust. VPN tunneliga antakse üldjuhul ligipääs tervele automaatikavõrgule ning kliendil ei ole lihtne piirata, millistele teenustele ning masinatele kasutaja ligi peaks pääsema. Ühtlasi on võrreldes esimese lahendusega VPN tunneli kaudu tehtud ühendus võrguarhitektuuri vaatenurgast keerulisem. Sellega kaasneb suurem risk erinevate riist- ja tarkvararikete tõttu põhjustatud ühenduse katkestustele. Sisevõrgu masin suhtleb sellisel juhul ainult vahemasinaga ja välisvõrgu ühendust sellel masinal ei ole; samuti suhtleb välisvõrgus olev R8 server selle vahemasinaga ja otseühendus sisevõrguga ning sisevõrgu BMS masinaga ei ole.

### 3. Hoone BMS arvuti ühendatakse läbi R8 VPN tunneli.

Selle lahenduse puhul paigaldab R8 oma riistvara (sidearvuti ja tulemüür) hoonesse ja lahendab hoonete vahelise andmeside läbi oma VPN lahenduse. Selline lahendus on otstarbekas juhul, kui hoone valdajal puudub võimekus hallata andmeside turvalisust tagavaid seadmeid. See on ka kõige komplitseeritum ja kulukam lahendus, kus ühenduse turvalisus tagatakse ühepoolselt R8 poolt ning hoone omanikul puudub kontroll andmesideliikluse üle. Samas on taolist lahendust võimalik kasutada ka siis, kui võrguühendus välismaailmaga pole lubatud. Sellisel juhul on vajalik sisevõrk ja välisvõrk lahti siduda. Selleks tuleb kasutada lisaarvutit neutraalses võrguosas (DMZ). Ühendused välis- ja sisevõrgust determineeritakse selles vahemasinas ja otseühendusi kahe võrgu vahel ei ole: sisevõrgu BMS arvuti suhtleb sellisel juhul ainult vahemasinaga ja välisvõrgu ühendust sellel masinal ei ole; samuti suhtleb välisvõrgus olev R8 server vahemasinaga ja otseühendus sisevõrguga ning sisevõrgu BMS masinaga ei ole. Andmevahetus nende kahe eraldatud võrgu vahel toimib selliselt, et andmed kantakse selles vahemasinas sisemiste protsessidega ühest võrgust teise.

RKAS'i otsus oli kasutada ühenduse loomiseks varianti nr 2. R8 serveri RKAS'i VPN tunneliga esialgsel ühendamisel tekkisid mõned tõrked, kuid need said koostöös RKAS'iga võrdlemisi kiiresti lahendatud.

On paratamatu, et hooneautomaatika süsteemide liidestamisel pilveteenustega tuleb arvestada ka erinevate potentsiaalsete turvariskidega. Andmelekete vältimiseks ning kolmandate osapoolte juurdepääsu takistamiseks automaatika juhtsüsteemidele on oluline, et teenuse osutamisel kasutatakse kaasaegseid ja tunnustatud küberturvalisuse lahendusi.

#### 3.1.2. Hoone infomodeli (BIM) kasutamine ja teostusmodeli kvaliteet

Infomodelist saadavad kvaliteetse informatsiooniga on võimalik R8-l kiirelt teostada integratsiooni, pakkuda täpsemat seadme tootja ja töökarakteristika põhise toimivusanalüüsi, diagnostikat ning optimeerimist. Samuti saab edastada täpsemaid seadme põhiseid tööülesandeid koos tootja juhenditega tehnikutele.

Täna on probleemiks infomodelite vähene kasutamise oskus ja teave. Seetõttu on infomodelite kvaliteedis, kasutatavuses ja vajaduste kaardistamises märkimisväärsed puudused.

Edukas mudeli kasutamine aga eeldab, et:

1. Ehitise infomudelit luuakse juba projekteerimisfaasis standardiseeritud ja klassifitseeritud suurandmetega.
2. Ehitamise käigus valideeritakse ehitise infomudelit ja hoone valmimisel on olemas ehitise teostusmudel koos suurandmetega.
3. Digitaalset haldusmudelit valideeritakse ja täiendatakse ehitise elukaare lõpuni.

Antud hoones pole infomudelit igapäevasesse kasutusse võetud. Samuti esitati meile erinevaid infomudeli versioone ning polnud selge, kui täpselt oli esitatud infomudel ja selles sisalduv informatsioon kooskõlas teostusega. Seetõttu seadsime antud projekti raames eesmärgiks valideerida automaatikasüsteemi ja infomudeli andmete ühilduvust ning nende sobivusel koostada hoonest R8 süsteemi arhitektuur ([Joonis 3](#)~~Joonis-3~~).

Infomudelist kasutasime:

- Korruseplaanide jooniseid, ruumide numbreid, tüüpe, asukohti ja tehnilisi parameetreid.
- Ruumides paiknevaid KVJ-seadmeid koos leitud tehnilise informatsiooniga.

Leitud seadmetega ühildasime automaatikasüsteemist saadud punktid. Üheks oluliseks probleemiks kujunes ruumi numbrite ühildumine IFC faili ja automaatikasüsteemi vahel. Näiteks IFC failis olnud “/” märk oli automaatikasüsteemis asendatud “\_” märgiga ja korpused ruumi numbrites olid erinevalt tähistatud. Lahenduseks tuli käsitsi reegleid defineerida ja valideerida ükshaaval saavutatud tulemusi.

R8-le saadetud IFC failides oli puudulik ruumi KVJ-seadmete tähistamine. R8-t ennekõike huvitasid radiaatorite, puhurkonvektorite, põrandkütte ja aktiivjahutustalade paiknemine ning nende tehnilised parameetrid. Radiaatorid olid hästi leitavad, kuid muud komponendid olid tähistamata, nii et automaatselt komponente otsides ei suudetud neid masinloetavalt eristada. Hiljem esitati R8-le projekteerijatega suhtlemisel uued IFC-failid, kus olid puhurkonvektorid juba selgemini „Description“ välja järgi eristatavad.



Joonis 3. Infomudeli põhjal süsteemi arhitektuuri konstrueerimine R8 platvormil.

Antud projektis oli probleemiks ka infomudeli põhjal failide halduse administratiivne pool. Polnud selgust millise infofaili versiooni saime ja mida sealt leida võib. Projekteerimisbüroodes kasutatakse teatud tarkvara mudelite tegemiseks ja sealt saab neid eksportida IFC formaati. Eksportimise käigus saab valida, mis elemente eksporditakse ja kuidas neid tähistatakse. Antud juhul juhtus nii, et saime faili, kus ei olnud kõike vajalikku lisatud ning polnud isegi selge, kas sisestatud informatsioon vastab tegelikkusele.

Kokkuvõtvalt koostati infomudeli põhjal süsteemiarhitektuur koos seadmete asukohtade visualiseerimisega. Siiski polnud infomudelist vajalikud andmed hästi masinloetavalt leitavad ja tekkis ka palju segadust leitud informatsiooni tõesuse üle. Väga suur abi oleks standarditest, mis määratleksid IFC faili sisu erinevateks juhtudeks. Projekteerijatel pole häid kasutajate kogemusi ja seetõttu ei teata, millist informatsiooni ja mil viisil talletatuna peaks infomudel halduseks sisaldama. Seetõttu koostasime tagasiside vastavalt RKASi uutele BIM nõuetele, et tulevikus oleks antud töö sujuvam (vt. Lisa 1 – R8 BIM andmesisu nõuded).

### 3.2. Diagnostika

Teise etapi raames jooksis diagnostika ning septembri lõpus esitlesime hoone diagnostika raportit (vt. Lisa 2 – Diagnostika raport). Raporti eesmärk oli anda tehniline ülevaade integreerimisel tuvastatud tähelepanekutest ja automaatveatuvastustega tuvastatud tõrgetest.

R8 diagnostika võib jagada kolme etappi. Esmane diagnostika tehakse R8 töötajate poolt integreerimise faasis. Selle käigus tuleb välja, kas automaaticas on kõik vajalik info

kättesaadav ja kas automaatika toimimine on mõistetav ning süstematiseeritud. Järgmine diagnostika toimub peale integratsiooni ja selle viivad läbi automaatsed veatuvastuse algoritmid. Viimased tähelepanekud tulevad siis, kui R8 käivitab hoones juhtimise. Siis selgub, kas ja kui hästi seadmed reageerivad erinevatele töökäskudele ja seadesuuruste muutustele.

R8 loeb hooneautomaatikast 15 minutilise intervalliga kõiki olulisemate automaatikapunktide väärtusi, sealhulgas kõiki sensorite lugemeid, enamikke (arvutuslikke) seadearve, seadmete töökäske ja olekuid. Integratsiooni faasis punktid kategoriseeritakse vastavalt R8 poolt välja töötatud süstemaatikale.

R8 veatuvastusalgoritmid põhinevad veatüüpidel. Igale veatübile vastab veatuvastusalgoritm, mida käivitatakse automaatselt intervalliga 15 minutit kuni üks päev. Iga veatüüp kirjeldab mingi kindlat tüüpi KVJ komponendi mingit kindlat probleemi. Veatuvastusalgoritmi ülesanne on läbi käia kõik antud KVJ-seadmed R8 süsteemis ja otsustada, kas antud ajahetkel antud probleemitüüp esineb või mitte.

Veatuvastusi on erinevaid. Lihtsamad tuvastused kontrollivad, kas punktide väärtused on mõistlikes piirides (näiteks ventiili avatuse protsent ei saa olla negatiivne). Keerukamad algoritmid kontrollivad, kas seadmed töötavad (või seisavad) vastavalt töökäskudele ja kas seadmed saavutavad etteantud parameetrid (nt kas ventilatsioonimasin saavutab nõutud sissepuhkeõhu temperatuuri ja kas temperatuur on stabiilne). Veatuvastused kasutavad vajadusel lisaks hetkväärtustele ka varasemaid andmeid – asi mida hooneautomaatika ei tee. Programm tuvastab ühes tunnis (ja seda ööpäevaringselt) keskmiselt 50 viga ja anomaaliat, millest 45 muudab ise ära ning 5 vajab kohapealse tehniku tööd. Võrreldes inimesega suudab programm leida sama aja jooksul kordades rohkem vigu.

Juhul, kui seadmel tuvastatakse uus viga või anomaalia, tehakse selle kohta R8 platvormile tööülesanne, mida saab näha nii tööülesannete nimekirjas ([Joonis 4](#)~~Joonis 4~~) kui ka seadme enda leheküljel. R8 platvormi on võimalik seadistada nii, et tuvastatud veale määratakse automaatselt vastutav isik ja seda isikut teavitatakse. Kõrge prioriteediga vead (nt ventilatsioonimasin ei tööta) saadetakse koheselt kõigile hoone eest vastutavatele inimestele.

Priority	Location	Status	Type	Description	Assignee
MED	KABINET - 6107 Controller	New	Rooms	Room window has been open for several hours. Close the window.	
MED	KABINET - 3089 Controller	New	Rooms	Room window has been open for several hours. Close the window.	
MED	VASTUVÖTT - A6002 Controller	New	Rooms	Room window has been open for several hours. Close the window.	
MED	KM1 Chiller	New	Cooling	Sensor is giving constant readings.	
MED	KM1 Chiller	New	Cooling	Sensor is giving constant readings.	

Joonis 4. R8 veebiplatvormil olev tööülesannete nimekiri.

Automaatne veadiagnostika omab eeliseid inimoperaatori ees, kuna automaatne diagnostika töötab kogu aeg ja kontrollib regulaarselt kõiki seadmeid. Automaatne diagnostika suudab pidevalt monitoorida ka ajaloolisi andmeid ja trende ning seda sõltumatult sellest, kes hoonet parasjagu opereerib.

### 3.3. Juhtimine ehk „Autopiloodi“ rakendamine

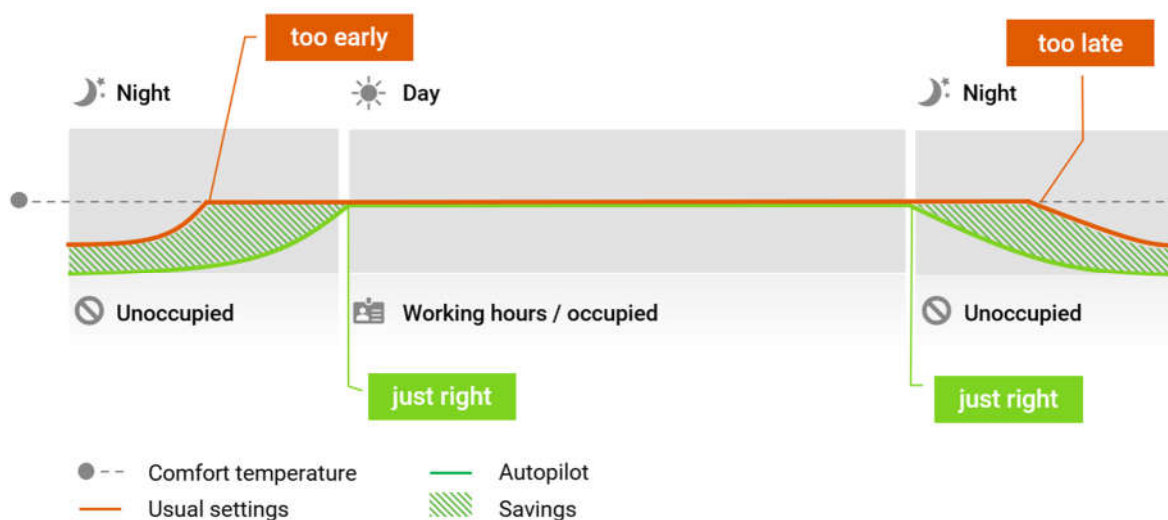
Kolmas etapp ehk juhtimine algas oktoobri keskel ning selle käigus rakendus R8tech tehnosüsteemide juhtimisprogramm, mille eesmärk oli saavutada nutika mudelipõhise juhtimisega hoones energia kokkuhoid, tagades seejuures hoones mugav soojuslik sisekliima. Oktoobrikuu keskel tehti R8 juhtimisprogrammi kasutajakoolitus kõigile vajalikele inimestele (haldur, tehnikud jne) ning anti ligipääsud R8 platvormile. Samuti suunati R8 diagnostika mooduli poolt loodud automaatsed veateated ning tööülesanded Riigi Kinnisvara poolt etteantud e-aadressidele. Esimene terviklik kuu, mil juhtimisalgoritmid olid täielikult rakendunud, oli 2019. aasta november. Juhtimisprogrammi rakendamise viimaseks terviklikuks kuuks oli 2020. aasta veebruar, ehk kokku olid tehnosüsteemid R8 juhtimise all 4 kuud. Täielikult lõpetati juhtimisloogika rakendamine 2020. aasta märtsi keskel.

Traditsiooniline hooneautomaatika teostab hoones protsessijuhtimist vastavalt muudetavatele graafikutele või seadesuurustele. Graafikute seadistused ja seadearvud määratakse tehniliste operaatorite poolt vastavalt projektdokumentatsioonile, mõõdistustele, parima äranägemise järgi või katsetustele. Näiteks ventilatsioonimasina sissepuhke õhu temperatuuri võidakse



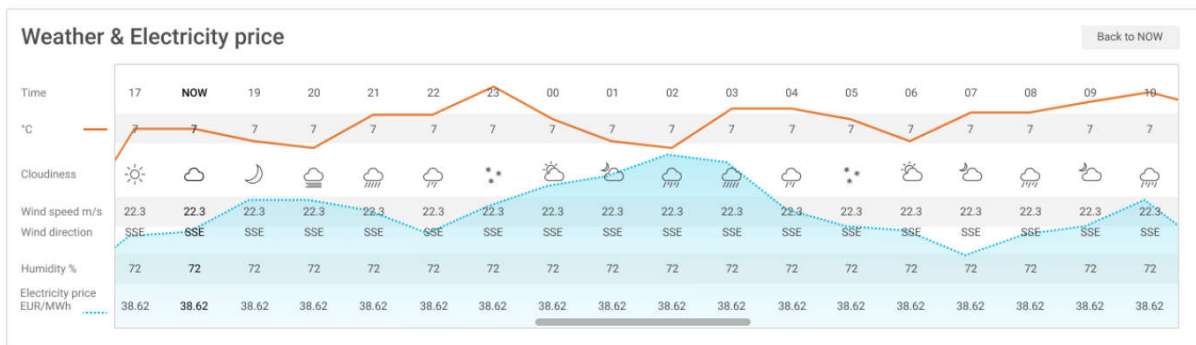
hoida fikseeritud seadesuuruse juures, aga samas jällegi mõnel juhul määratakse see graafikult. See tähendab, et süsteem ei mõtle selle üle, kas see graafik või seade arv on antud olukorra jaoks optimaalne ning millist energiakulu see endaga kaasa võib tuua.

Tõeliseks väljakutseks on erinevate süsteemide (ventilatsioon, küte, jahutus, ruumikliima) seadegraafikud ja -suurused seada sünkroonselt tööle nii, et hoonet köetakse, jahutatakse ja ventileeritakse vastavalt vajadusele õigel ajal õiges koguses. Täpse vajaduse välja selgitamine on aga keeruline ülesanne, kuna tüüpiliselt on ühes büroohoones sadu ruume, tuhandeid seadmeid ja veelgi enam andmepunkte. Antud projektis on vastavalt 827 ruumi, 2 898 juhitavat seadet ja 48 813 andmepunkti. Täiendavalt mõjutavad hoone sisekliima vajadust nii kasutajate erinevad sisekliima eelistused, väliskliima kui ka energiaturud.



Joonis 5. Õigel ajal kütmine ja jahutamine annab märgatava kokkuhoiu.

Tehisintellekt saab hakkama suurte andmehulkadega ja aegriidadega ning suudab suure tõenäosusega ka tulevikku ennustada. Saavutamaks hoone sisekliima tõhusat kontrolli, kasutati mitmeid tehisintellektile toetuvaid lahendusi. Näiteks suure hulga erinevate andmete abil seadmete juhtimine, ajaloolistele mustritele tuginev juhtimine ja mudeli põhine ennustav juhtimine. Ruumide temperatuuri kasutajatele sobilikku vahemikku viimiseks tuleb neid ette soojendada või jahutada (Joonis 5, Joonis-5). Ruumide kasutusajad saadi kohalolekuandurite andmete analüüsi tulemusel. Täpse käivitamisaja valimiseks analüüsis Autopilot ruumide temperatuuri, CO<sub>2</sub>-taset, trende, elektri börsihindu ja ilmaprognoose (Joonis 6, Joonis-6). Küttekontuuride juhtimisel jälgiti tegelikku soojusvajadust ja reguleeriti vastavalt sellele temperatuure kontuurides. Masinõppe abil koostati mudelid, millele toetudes muutus kontuuride kontroll veelgi kiiremaks.



Joonis 6. R8 veebikasutajaliidese pealehel olev ilma ja elektrihindade graafik, mille prognoose võetakse juhtimisel arvesse

### Kuidas R8 Digitaalne Operaator igapäevaselt toimetab?

- Eesmärk on tagada mugav sisekliima ajal, mil ruumid on realselt kasutuses ja saavutada kokkuvõtte, tegemata järeleandmisi sisekliimas.
- Lähtub hoone kasutajate vajadusest ja muudatustest. Kõetakse, jahutatakse ja ventileeritakse vastavalt kasutaja kohalolekule ja termostaadist reguleeritule.
- Vaatab, analüüsib ja vajadusel kalibreerib automaatselt ilma inimese igapäevase vahelesekumiseteta kuni 4x tunnis üle kõik seadesuurused.
- Tuvastab andmete põhjal tehnilisi rikkeid, mis põhjustavad sisekliima halvenemist või üleliigset energiakulu.

## 4. SAAVUTATUD TULEMUSED

### 4.1. Ühendus automaatikasüsteemiga ning selle stabiilsus

Alates ühenduse loomisest (augustis) kuni käesoleva raporti kirjutamise hetkeni on R8 serveri ja hoone BMS süsteemi vaheline ühendus ja andmevahetus olnud aktiivne 97,2% ajast. See tähendab, et vahepeelsel ajal on ette tulnud lühiajalisi andmevahetuse tõrkeid ning ühenduse katkestusi, mis on R8 digitaalse operaatori tööd takistanud. Katkestusi on põhjustanud järgnevate süsteemikomponentide tõrked:

- **Hoone BMS arvuti internetiühenduse ja RKAS automaatikavõrgu VPN tunneli tõrked** – Ühenduse tõrgete korral ei ole võimalik R8 serveril hoone automaatikavõrguga andmeid vahetada.
- **Siemens Desigo hooneautomaatika tarkvara tõrked** – projekti jooksul esines juhtumeid, kus Desigo tarkvara tõrgete tõttu ei olnud võimalik NORIS API kaudu andmeid pärida. Üldjuhul pidi probleemi lahendamiseks tarkvarale manuaalse taaskäivituse tegema.
- **R8 serverite tõrked** - projekti jooksul esines lühiajalisi R8 teenuste tõrkeid, mille tagajärjel ebaõnnestus lühiajaliselt hoone automaatikasüsteemist andmete lugemine või kirjutamine. Peamiselt olid vastavad katkestused seotud R8 teenuste pideva edasiarendusega ning uute funktsionaalsuste kasutuselevõtuga. Kõik vastavad tõrked lahendati R8 meeskonna poolt esimesel võimalusel (üldjuhul paari tunni jooksul) ning mitte ühelgi korral ei põhjustanud R8 serverite tõrked hoone automaatikasüsteemi töös märgatavaid probleeme.

Ühenduse katkemisel automaatikasüsteemi ja R8 serverite vahel ei ole R8 Digitaalsel Operaatoril võimalik hoone seadmete tööd juhtida. Enamasti tähendab see lihtsalt seda, et automaatikaseadmed jätkavad oma tööd sarnaselt sellele, kuidas automaatika toimis enne R8 teenuse aktiveerimist. Siiski on võimalik, et olenevalt hoone automaatikasüsteemi konfiguratsioonist ning tarkvaralistest piirangutest võivad õnnetu ajastusega ja ootamatud ühenduse katkestused põhjustada automaatikaseadmete mitteõigeaegset käivitumist. Risk võib tekkida juhul, kui automaatika tarkvara piirangute tõttu ei ole R8 Digitaalsel Operaatoril võimalik BMS'is muuta seadmete tööd juhtivaid ajagraafikuid ning agregaatide õigeaegseks sisse- ja väljalülitamiseks kasutatakse seetõttu käsirežiimi. Näiteks realiseerus antud risk

Lubja 4 hoones, kui võrgutöödega seotud internetikatkestuse tõttu ei käivitunud osad ventilatsioonimasinad õigeaegselt (ventilatsioonimasinad käivitati käsitsi läbi BMS'i paar tundi hiljem). Hoonete või seadmete puhul, kus pole võimalik juhtida graafikuid ning madal risk pole aktsepteeritav, on erinevatele probleemidele järgnevad võimalikud lahendused:

1. Graafiku puudumine: automaatika ehitaja poolt lisada vajalik autorežiimi töögraafik.
2. Tarkvara või SCADA süsteem ei võimalda graafikute juhtimist: uuendada automaatika tarkvara versiooni või BACnet võrguprotokolli puhul paigaldada hoonesse R8 seade, mis tagab ühenduse hoone ja R8 serveri vahel.
3. Rakendada vähendatud R8 juhtimisloogikat, mille puhul kriitilised operatsioonid nagu seadmete sisse- ja väljalülitamisi ei teostata, kuid optimeeritakse seadmete tööd temperatuuri/rõhu seadepunktide muutmisega.

Seega on reaalsuses võimalik täielikult vältida automaatikaseadmete mitteõigeaegset käivitumist. Samuti on ühenduse stabiilsuse tõstmiseks ning riskide vähendamiseks antud projektis R8'l kaks ettepanekut:

- **Siemens Desigo tarkvara uuendamine versioonile 4.1** – Hetkel on hoone BMS arvutisse paigaldatud Siemens Desigo v3.0 tarkvara. Tänapäevaks on Siemens välja lasknud mitmeid tarkvarauuendusi, millest viimane versioon 4.1 on stabiilsem ja turvalisem ning võimaldab läbi NORIS API lugeda ja muuta ka BMS ajagraafikuid. Antud funktsionaalsus on väga oluline, sest selle abil oleks võimalik R8 digitaalsel operaatoril vajadusel vastavaid ajagraafikuid optimeerida ning sellega tagada hoone automaatikaseadmete korrektne töö ka R8 serveri ja hoone automaatika vahelise ühenduse katkestuste korral (seadmed töötaksid edasi auto-režiimis vastavalt BMS'i ajagraafikutele).
- **Ühenduse ümberkonfigureerimine** – Ühegi võrguühenduse puhul ei saa täielikult välistada katkestusi. On paratamatu, et ühendusel, mis tugineb mitmete erinevate võrguseadmete tööle, on alati oht riist- või tarkvararikke tõttu katkeda. Küll aga on võimalik katkestuste tõenäosust vähendada, valides lahenduse, mis on kõige sobilikum antud ülesande täitmiseks. R8 on alati valmis arvestama ja vastu tulema kliendi erisoovidele ja nõudmistele seoses hoone ja R8 serverite vahelise võrguühendusega, kuid R8 võrguadministraatorite arvamusel on antud hoone jaoks kõige sobilikum peatükis 3.1.1 kirjeldatud lahendustest esimene - **Hoone automaatikavõrgu ruuteris**

**konfigureeritakse IP filtriga portide suunamine nii, et R8 serveril oleks võimalik saata päringuid otse BMS arvutile üle interneti.**

## 4.2. Diagnostika

Hoone olulisemad puudused selgusid ennekõike esimeses, integratsiooni faasis. Kahjuks ilmnes mitmeid suuri ja põhimõttelisi puuduseid. Selgus näiteks, et:

- Jahutussõlmede juhtloogika on teostatud puudulikult ja vajab uuesti ülesehitamist. Jahutussõlmede juhtimine toimub peaaegu manuaalselt. Talve alguses jõudsime olukorrani, kus lihtsaim viis jahutuse väljalülitamiseks oli paluda tehnikutel jahutusmasinad käsitsi kilbist välja lülitada.
  - 1) Elementaarne jahutussõlme juhtloogika võimaldab jahutust lülitada automaatse, vaba- ja sundjahutuse režiimide vahel. Automaatses režiimis toimub seadme sisse- ja välja- lülitamine vastavalt ajagraafikule ja välistemperatuuri põhjal lülitamine vaba- ja sundjahutuse vahel. Sellist elementaarset juhtloogikat me BMS-ist ei leidnud.
  - 2) Puuduvad eraldi punktid kõikide pumpade töökäskude, olekute ja alarmide jaoks.
  - 3) Osadel pumpadel on projekti järgi sagedusmuundur ja muudetav kiirus. Automaatikast me sagedusmuunduri või kiiruse reguleerimise kohta infot ei leidnud.
  - 4) Automaatikapunktide struktuur on ülimalt raskesti mõistetav. Meile teadaolevalt on üritatud jahutussõlme juhtloogika üles ehitada kontrolleri- ja juhtimisele, mis on tegelikult mõeldud soojasõlmede juhtimiseks. R8 hinnangul tuleks loobuda senisest jahutussõlmede automaatikalahendusest ja ehitada uus automaatika üles Siemensi PXC kontrolleri- ja juhtimisele (kuna hoones on läbivalt kasutatud Siemensi lahendusi).
- Energiamõõtjate liidestus BMS-i on tehtud väga ebasüsteemiliselt (meie ettepanekute põhjal tehti parendusi).
- BMS-is puuduvad soojasõlmede temperatuurigraafikud (meie ettepanekute põhjal tehti parendusi). Soojasõlmedes on küll sagedusmuunduritega targad pumbad, aga need on automaatikasüsteemi liidestamata.
- Ventilatsioonimasinate operaatoripoolsed seadistamise võimalused on tavapäratult piiratud. Kõik masinad (va. parkla masinad) töötavad fikseeritud režiimis, kus ventilatsioonimasina temperatuure juhitakse kaskaadjuhtimisega väljatõmbe temperatuuri alusel läbi sissepuhkeõhu temperatuuri. Selline režiim on fikseeritud ja operaator seda muuta ei saa. Lisaks ei ole võimalik seada sissepuhkeõhu temperatuurile ülem- ja alampiire. Niivõrd piiratud valikuvõimalusi me mujal hoonetes näinud ei ole.

- Väga keeruline on aru saada, mille järgi ning kas üldse ventilatsioonimasinate õhuhulkasid juhitakse. On see konstantne sagedus, staatiline rõhk või rõhuvähe? Kohati ei leidnud me kõiki vajalikke õhuhulga juhtimise punkte.

Automaatne veadiagnostika tuvastas seadmete juures suhteliselt vähe probleeme. Osaliselt on põhjus eelnevalt kirjeldatud puudulikult teostatud automaatikas. See piiras automaatse veadiagnostika võimalusi ennekõike jahutusõlmes, aga ka soojasõlmes ja ventilatsioonis. Märkasime näiteks, et:

- Soojasõlmes on külmemate ilmade korral küttevõimsus liiga madal ja soojasõlm ei suuda saavutada ettenähtud temperatuure. See tähendab omakorda, et külmadel hommikutel tuleb hoonet hakata väga vara soojendama, mis omakorda suurendab energiakulu.
- Leidsime ruume, kus esines probleeme õhutemperatuuriga. Mõnel juhul selgus, et põhjused peitusid automaatikas, nt ei avanenud osades ruumides kütteventiilid mitte kunagi.

Opereerimise faasis märkasime, et:

- Ventilatsioonimasinate ventilaatorite töökäske on võimalik nii üle kirjutada, et ignoreeritakse masinate pealüliteid. BMS-s on ventilatsioonimasina juures punkt, mille abil saab ventilatsioonimasinat tervikuna sisse ja välja lülitada (nõ. digitaalne pealüliti). Lisaks on ventilaatorite juures töökäsud, mis juhivad ventilaatorite tööd eraldi. Tavaolukorras tulenevad ventilaatorite töökäsud otse masina pealüliti asendist. Samas on võimalik ventilaatorite töökäske erandkorras ka üle kirjutada. Hetkel on see lahendatud nii, et kui ventilaatori töökäsk on üle kirjutatud, siis masina pealüliti ignoreeritakse täielikult. R8 hinnangul oleks mõistlikum lahendus, kus pealüliti OFF olekut järgitakse igas olukorras. Igal juhul tuleks välistada olukord, kus ventilaator on kogemata jäänud üle kirjutatud ON olekusse, aga küte on suletud, kuna masin on välja lülitatud.
- Kindlasti oleks vaja üle kontrollida ventilatsioonimasinate jäätumiskaitsete korrektne toimimine, mis eeldab tööd koha peal. Hetkel on ventilaatoreid võimalik käivitada läbi BMS-i ka siis, kui ülejäänud masin on välja lülitatud. Seetõttu tekkis olukord, kus külma ilmaga ventilaator töötas, aga kütteventiil oli suletud. Selle tulemusel langes küttekalorifeeri temperatuur väga madalale, aga mitte miski ei peatanud ventilaatori tööd. Tavapäraselt peaks Eesti kliimas olema sellise olukorra jaoks eraldi jäätumiskaitse, mis blokeerib ventilatsioonimasina töö, kui küttekalorifeeri temperatuur langeb liiga madalale.

Me ei julge kindlalt väita, et jäätumiskaitse ei tööta, aga seda tuleks kindlasti kontrollida. Võib tekkida olukord, kus ühe küttekalorifeeri jäätumine masinas võib põhjustada ka ülejäänud kütte- ja jahtuskalorifeeride jäätumise, kuna ventilatsiooni kütteringluses võib kaduda rõhk. Suure hulga kalorifeeride jäätumine tähendab aga väga suuri ootamatuid kulusi.

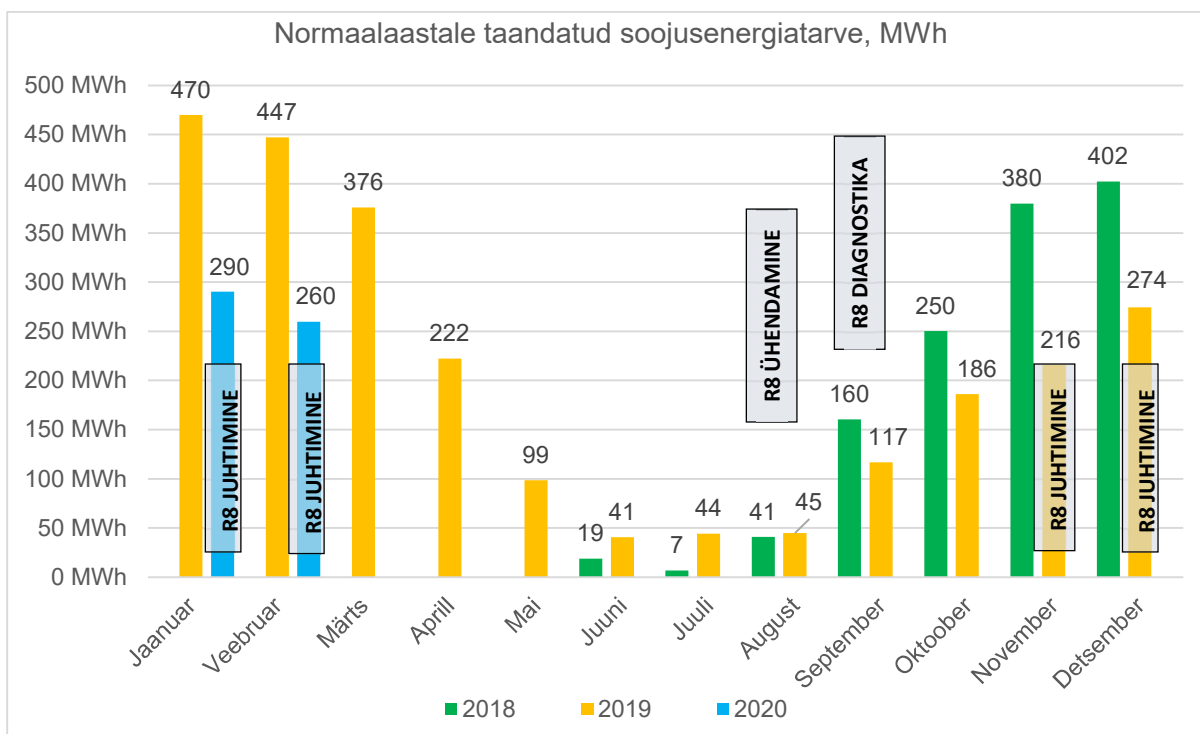
- Ventilatsioonimasinad töötavad liiga palju ajal, mil hoonet reaalselt ei kasutata.

### 4.3. Energia kokkuhoid

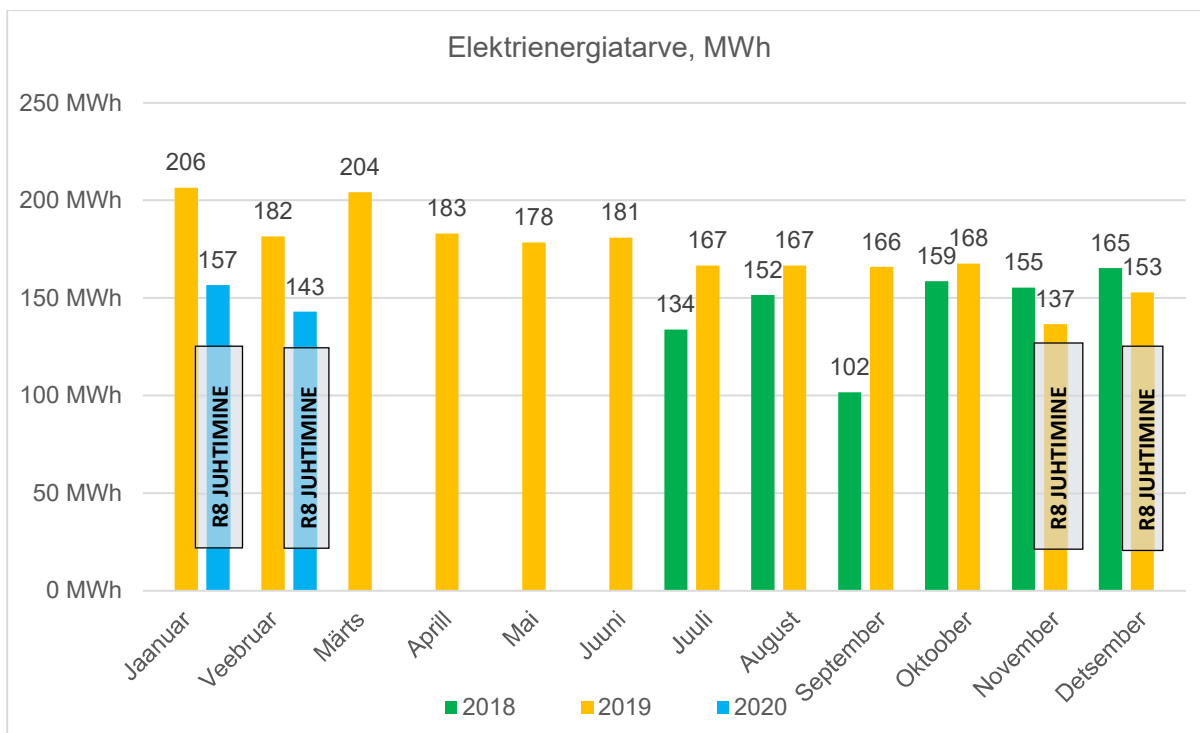
Projekti 4 kuu (01.11.2019 – 29.02.2020) tulemusi iseloomustavad alljärgnevad mõõdetud ja ilma suhtes normaliseeritud (st. normaalaastale taandatud<sup>1</sup>) energiatarbimise graafikud. Sooja tarbevee valmistamiseks kulunud energia hulk on teada ainult selle perioodi kohta, mil R8 juhtimisprogramm oli hoonega liidestatud. Varasema perioodi tarbevee soojendamiseks kulunud energiahulk on leitud arvutuslikult külma vee põhjal. Alljärgnevatel graafikutel on iseloomustatud kütte ja elektri energiatarbimise tulemused aastatel 2018 – 2020.

---

<sup>1</sup> Riiklikult tunnustatud normaliseerimise meetodikaga välistatakse kliimaatilised muutused ja seejärel võrreldakse erinevate aastate energiatarbimist. Kompenseerimaks erinevate aastate välisõhu temperatuuride mõju soojuse tarbimisele viiakse reaalse aasta soojuse tarbimine üle võrreldavale normaalaasta tarbimisele. Erinevate aastate välisõhu temperatuuri erinevuste mõju soojuse tarbimise kompenseerimiseks kasutatakse kraadpäevi. Rohkem saab lugeda selle kohta siit: [https://energiatalgud.ee/index.php/Välisõhu\\_temperatuuri\\_mõju\\_energiatarbimisele](https://energiatalgud.ee/index.php/Välisõhu_temperatuuri_mõju_energiatarbimisele)



Joonis 7. Lubja 4 kohtuhoone **normaliseeritud soojusenergiatarbimise (MWh)** võrdlus aastatel 2018, 2019 ja 2020.



Joonis 8. Lubja 4 kohtuhoone **elektrienergiatarbimise (MWh)** võrdlus aastatel 2018 ja 2019.



Tulemuste täpne arvutuskäik on kirjeldatud tabelarvutustes, mis on lisana kaasas antud raportiga. Järgnevalt on esitatud koondtulemused novembri, detsembri, jaanuari ja veebruari kohta, mil oli täielikult rakendunud juhtimisprogramm. Kõik rahalised näitajad on toodud välja ilma käibemaksuta.

Tabel 1. Elektri- ja soojusenergia tarbimine (MWh) enne R8 juhtimist ja siis kui R8 oli rakendatud.

Kuu	Elekter, MWh	Soojus (möödetud), MWh	Soojus (normaliseeritud), $t_b=15$ , MWh	Soojus ilma tarbeveeta (normaliseeritud), $t_b=15$ , MWh
<b>Enne R8 juhtimist</b>				
nov.18	155,3	320,7	379,9	358,5
dets.18	165,3	383,0	402,2	383,8
jaan.19	206,5	475,9	469,9	455,9
veebr.19	181,6	334,2	447,2	434,0
<b>R8 juhtimine on rakendunud</b>				
nov.19	136,5	189,4	215,6	200,8
dets.19	152,8	201,6	274,4	257,9
jaan.20	156,6	191,5	290,2	271,3
veebr.20	142,9	187,9	259,7	242,1

Tabel 2. Perioodil nov.19 – veebr.20 (4 kuud) tänu R8 juhtimissüsteemile säästetud energiakogus ja kokkuhoitud raha.

<b>Sääst</b>						
Kuu	Elekter		Soojus (normaliseeritud), $t_b=15$		Sääst kokku	
	MWh	€	MWh	€	MWh	€
nov.19	18,7	1 591	157,7	7630,4	176,4	9221,1
dets.19	12,5	962	125,8	6165,7	138,3	7128,0
jaan.20	49,9	3 505	184,6	9255,2	234,5	12759,8
veebr.20	38,6	2 670	191,9	9621,1	230,5	12291,5
<b>Kokku</b>	<b>119,7</b>	<b>8 728</b>	<b>660,0</b>	<b>32672,4</b>	<b>779,8</b>	<b>41400,4</b>

Tabel 3. Protsentuaalne soojus- ja elektrienergia sääst

Protsentuaalne sääst		
Kuu	Soojus (normaliseeritud), $t_b=15$	Elekter
November 2019	44,0%	12,1%
Detsember 2019	32,8%	7,6%
Jaanuar 2020	40,5%	24,2%
Veebruar 2020	44,2%	21,3%
<b>4. kuu keskmine sääst:</b>	<b>40,4 %</b>	<b>16,3 %</b>

Autopiloodi rakendumise perioodil oli kuu keskmine elektrienergia kokkuhoid **16,3%** ning soojusenergia puhul **40,4%**. Nelja kuu jooksul säästeti summaarselt elektrienergiat **119,8 MWh** ning soojusenergiat **660,0 MWh**. Kokku teeb see nelja kuu jooksul kokku **779,8 MWh** energiasäästu ning rahaline kokkuhoid oli **41 400,40 €**.

#### 4.3.1. Energia kokkuhoiu kujunemine

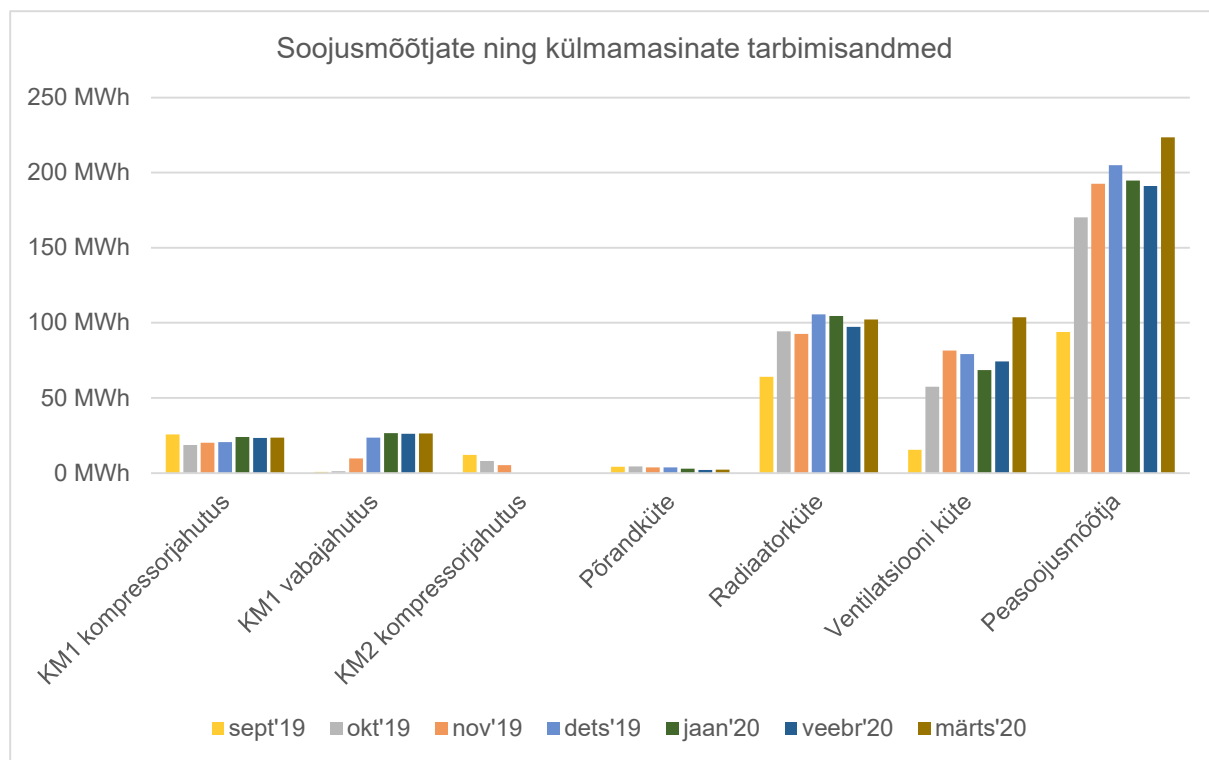
Erinevalt BMS-st kasutab R8 autopiloot hoone juhtimiseks ajaloolisi ja tulevase väärtusi. Hoone varasemat käitumist analüüsitakse ja vastavalt ilma- ja elektribörsiennustusele korrigeeritakse erinevaid seadepunkte. Seetõttu on võimalik näiteks leida sobiv aeg ruumi kütte/jahutussüsteemi ja ventilatsiooni käivitamiseks, et tööaja alguseks oleks ruumi temperatuur sobiv. Arvesse võetakse erinevaid tuvastatud vigasid ja üritatakse nende mõju hoone sisekliimale ja kuludele minimeerida. Üldiselt üritatakse hoonet juhtida vajaduspõhiselt ja võimalusel kasutusinfot analüüsides ning kiirete muutustega jõuda sobiva tööpunktini (mudelipõhine kontroll) ( vt. [Tabel 4](#) ~~Tabel 4~~ ).

Tabel 4. Tänapäevase BMS-i ja R8 võrdlus

Süsteem	Tänapäevane BMS-i võimekus	R8	Kokkuhoid
Ruumide juhtimine	Graafik	Ruumide graafikuid muudetakse vastavalt kasutusstatistikale ja eelkütte või jahutuse vajadusele	Suur
Ventilatsiooni õhu temperatuuri juhtimine	Sissepuhkeõhu temperatuuri juhitakse sõltuvalt välisõhu temperatuurist või tagastuvõhu temperatuurist (temperatuuri graafiku abil)	Sissepuhkeõhu temperatuuri juhitakse vastavalt ruumide seadepunktidele ja graafikutele	Keskmine
Ventilatsiooni õhu hulkade juhtimine	VAV-id või tagastuvõhu CO <sub>2</sub> / CO sisalduse järgi	Ruumide CO <sub>2</sub> / CO andurite info või muu kasutusinfo	Suur
Ventilatsiooni graafik	Fikseeritud graafik, võimalikud ka lihtsad eeljahutus või eelküttegaafikud	Tuginedes ruumide kasutusandurite infole koostati baasgraafikud, mida vastavalt eelsoojendamise vajadusele muudeti jooksvalt (sarnast lahendust kasutatakse suvel ka eeljahutamiseks)	Suur
Küttekontuuride temperatuurid	Graafik sõltuvalt välisõhu temperatuurist	Muudeti küttekontuuride parandeid lähtudes kontuurist soojust saavate ventilatsiooniseadmete/ruumide infost	Keskmine
Küttekontuuride vooluhulgad	Hoitakse fikseeritud rõhuvahet või temperatuuri vahet	Lisaks olemasolevale infole kasutatakse kontuurist soojust saavate ventilatsiooniseadmete/ruumide infot	Väike
Jahutusüsteem	Kompressor- või vabajahutus sõltuvalt välisõhu temperatuurist ja graafikust	Lisaks olemasolevale infole kasutatakse kontuurist jahutust saavate ventilatsiooniseadmete/ruumide infot	Keskmine
Veatuvastus	Hetkväärtustel põhinev	Aegridadele toetuv ja erinevate süsteemide koostööd analüüsiv	Suur

Efektiivse energiatarbimise aluseks on täpsed graafikud, ventilatsiooni-, kütte- ja jahutussüsteemide vaheliste vastuolude vältimine ja hooldusmeeskonna kiire reageerimine kriitilistele vigadele. Antud hoone oli varustatud rohkete sensoritega, mille abil sai kindlaks teha hoone tegeliku kasutusaja ja selle abil juhtida sisekliimat. R8 juhtimise eesmärk on tagada hoones hea sisekliima ja õhusõltumise ajal, mil hoone või hoone osa on kasutuses. Enamasti tähendab see kokkuhoidu eelkõige ventilatsiooni õhu soojendamise arvelt ja seda kehtis ka

antud hoones, kuna eelnevalt olid graafikute seadistused tehtud arvestamata hoone reaalsel kasutust. Joonis 9 ~~Joonis 9~~ välja toodud energiatarbimise jaotus erinevate küttekontuuride ja külmamasinade vahel näitab, et kui R8 juhtimine peatati märtsis, siis ventilatsiooni soojuse kulu suurenes oluliselt, mujal olid muutused väiksemad.



Joonis 9. Hoone soojakulu jagunemine vastavalt hoone arvestite näitudele

Lubja 4 hoone BMS-is ja hoones üldiselt oli olulisi puudujäärke. Selle tõttu erines juhtimine seal enne R8 töödega alustamist tavapärasest ja ka R8 pidi kohandama oma juhtimisloogikat, et saavutada paremaid tulemusi. Kokkuhoiu jagunemine on hinnanguline, sest:

- Antud hoones oli graafikuid rakendatud minimaalselt, kuna radiaatorid ei suutnud hoonet piisavalt kütta. Seega üritati ventilatsiooni kogu aeg rakendades hoida nõutud sisetemperatuuri. Tuginedes ruumisensorite infole määras R8 analüüsi tulemusel kindlaks hoone kasutusajad. Küll aga jahtus hoone ilma ventilatsiooni ja kütteta kiiresti, seetõttu tuli seadmed oluliselt varem käivitada ja neid kasutada kütteks. Täpsete

vajaduspõhiste tööaegade väljaselgitamine arvutuste tulemusel ja nende rakendamine andis hinnanguliselt 60% elektrienergia kokkuhoiust ning 60% soojuse kokkuhoiust<sup>2</sup>.

- Eraldi on välja toodud keldri masinate säästu osakaal kogu ventilatsiooni säästust ning arvutused tuginevad ventilaatori seadistustele, masinate tööaegadele ja keskmistele ventilaatorite kiirustele. Täpsemalt on välja arvutatud ventilatsioonimasinate suhtelise elektrikulu muutus ja keldri masinate osa sellest enne (oktoober 2019) ja pärast (jaanuar 2020) R8 juhtimist. Kui enne R8 moodustas keldri elektrikulu kogu ventilatsiooni kulust 22%, siis R8 juhtimise ajal oli see osakaal veelgi väiksem ehk 11%. Soojuse osa pole hetkel välja toodud, sest selle määramatus oleks vähemalt 20%. Küll aga võib öelda, et temperatuuri muut keldris on väiksem kui ülejäänud majas.

Tabel 5. Kogu ventilatsiooni ning eraldi keldri ventilatsiooni elektrikulu ning õhuhulgad enne ja pärast R8 juhtimist.

	Kogu ventilatsiooni elektrikulu	Kogu ventilatsiooni õhuhulgad	Keldri elektrikulu kogu kulust	Keldri õhuhulgad kogu hulgast
<b>Oktoober 2019</b>	100%	100%	22%	30%
<b>Jaanuar 2020</b>	39%	41%	11%	15%

- R8 rakendas hoones dünaamilisi graafikuid: vastavalt välisõhu temperatuurile ja ruumide ajaloolistele andmetele leiti sobiv aeg ruumi ja ventilatsioonimasina lülitamiseks töörežiimi. Eelsoojendamisaeg erines ruumi tegelikust kasutusest kuni 6 tundi. See meede andis hinnanguliselt 30% elektrienergia kokkuhoiust ja 20% soojuse kokkuhoiust<sup>3</sup>.
- Ruumide ja ventilatsioonimasinate seadepunktide ühtlustamine parandab sisekliimat ja võib vähendada ka kulusid, kuna vähendatakse samal ajal kütmist ja jahutamist. Ruumi kasutaja saab muuta seadepunkti  $\pm 3$  °C ulatuses. See on suur vahemik, ventilatsioon saab tagada vaid sobiva keskmise ruumi õhu temperatuuri, kuid kasutajale sobiliku temperatuuri tagavad ruumi kütte ja jahutuse seadmed. Ruumide

<sup>2</sup> Kokkuhoiu jagunemine on hinnanguline, kuna rakendati mitmeid erinevaid meetmeid korraga. Üksikult meetmeid rakendades võib mõju sisekliimale ja/või kuludele olla negatiivne. Kahjuks ei ole meil võimekust meetmeid ühe kaupa testida või mudeldada.

<sup>3</sup> Kokkuhoiu jagunemine on hinnanguline, kuna rakendati mitmeid erinevaid meetmeid korraga. Üksikult meetmeid rakendades võib mõju sisekliimale ja/või kuludele olla negatiivne. Kahjuks ei ole meil võimekust meetmeid ühe kaupa testida või mudeldada.

seadepunktide infot klassikaline BMS arvesse ei võta ja ka hea ülevaate saamine on keeruline. See meede hoidis hinnanguliselt kokku soojust 15%<sup>3</sup>.

- Küttekontuuride temperatuuri juhtimiseks jälgiti erinevate seadmete ja ruumide soojusvajadust. Lubja hoones oli radiaatorite küttekontuuris pidev sooja puudujääk. Ventilatsioonikontuuri juhtimisel muutis R8 seadepunkti 10 kraadi ulatuses, keskmiselt erines temperatuur küttegaafikust -2.3 °C võrra. See meede vähendab soojakadusid ja lihtsustab kontuurist tarbivate seadmete kontrolli (ventiili asendis 30-70% toimub reguleerimine oluliselt paremini, kui sugemise piiril <10%). See meede hoidis hinnanguliselt kokku soojust 5%<sup>3</sup>.
- Jahutusjaama automaatika ei toiminud. Kui välisõhu temperatuur oli piisavalt madal (pidevalt alla 10 °C) tuvastas R8, et endiselt töötab kompressorjahutus. Hoone tehniline meeskond lülitas jahutussüsteemi käsitsi vabajahutusele. See meede andis hinnanguliselt 10% elektrienergia kokkuhoiust<sup>3</sup>.

Antud hoones olid mõned puudujäägid, mille tõttu toimus oluline ülekulu ka R8 juhtimisel:

- Jahutussüsteemi juhtimisautomaatika oli puudulik;
- Maa-aluse parkla ventilatsiooni juhtimiseks ei olnud BMS-is CO andureid;
- Küttekontuurid olid varustatud 'tarkade' pumpadega, kuid neid ei olnud võimalik juhtida;
- CO<sub>2</sub> anduritega olid kaetud vaid koosolekute ruumid, teiste ventilatsioonimasinate varustamine anduritega võimaldaks ka nende koormust juhtida otseselt õhukvaliteedile toetudes.

Tabel 6. BMS vs R8 kontroll Lubja 4 hoones (antud hoone BMS seadis hulga kitsendusi).

Süsteem	Enne	R8
<b>Ruumide juhtimine</b>	Graafikuid ei rakendatud, BMS-i oli programmeeritud eelkomfort režiim, mis suurendas ruumis lubatud temperatuurivahemikku 1 kraadi võrra vastavalt kohaloleku infole	Muudeti kütte- ja jahutuse seadepunkte vastavalt graafikule ja vastavalt eelsoojendamise vajadusele, eelkomfort režiimi tegevus võeti arvesse
<b>Ventilatsiooni õhutemperatuuri juhtimine</b>	Fikseeritud tagastuvõhu temperatuur	Muudeti tagastuvõhu temperatuuri seadepunkti vastavalt ruumide seadepunktidele ja graafikutele
<b>Ventilatsiooni õhu hulkade juhtimine</b>	Staatilinerõhk, VAV	VAV-d katsid CO <sub>2</sub> sensoritega varustatud ruumid ja üldiselt töötasid ventilatsioonimasinad juba väikestel koormustel
<b>Ventilatsiooni graafik</b>	Osaliselt kaetud graafikutega, osaliselt töötas kogu aeg	Eelsoojendamine ja jahutamine toetudes kasutusinfo põhjal koostatud graafikutele
<b>Küttekontuuride temperatuurid</b>	Graafik sõltuvalt välisõhu temperatuurist	Muudeti küttekontuuride parandeid lähtudes kontuurist soojust saavate ventilatsiooniseadmete/ruumide infost
<b>Küttekontuuride vooluhulgad</b>	NA	NA
<b>Jahutusüsteem</b>	Kompressorjahutus 24/7, ka talvel	Võtsime ühendust tehnilise meeskonnaga ja soovitasime süsteem talveks vabajahutusse lülitada (võimalik vaid käsitsi)

Kokku muutis Autopilot terve juhtimisperioodi ajal 1279 erinevat seadepunkti (1248 seadepunkti olid seotud ruumidega). Muudatusi tehti 682 000 korda, millest 640 000 oli seotud ruumide seadepunktidega ning 27 100 muudatust tehti ventilatsiooni õhutemperatuuriga. Punkte, mida muudeti rohkem kui 100 korda oli kokku 907.

#### 4.4. Sisekliima

Ruumide sisekliima juhtimise eesmärk on tagada mugav sisekliima kasutusajal. Kui ruum ei ole hõivatud, siis nõuded ventileerimisele ja temperatuurile on leebemad. Tavapäraselt aktsepteeritud temperatuuri vahemikku suurendati 3 korda (kui tavapärane lubatud vahemik oli  $\pm 1^\circ \text{C}$ , siis mittehõivatud ajal suurendati lubatud vahemikku  $\pm 3^\circ \text{C}$ ). Realse aluse juhtimiseks lõi ruumisensorite info analüüs, mille abil koostati erinevate alade kasutusprofiilid. Saavutamaks paremaid tulemusi jälgiti ka reaajas ruumide kasutust ja reguleeriti hoone kliimasüsteeme nõnda, et just kasutuses olevates ruumides oleksid parimad tingimused. Kui osa ventilatsioonimasina ruumidest ei ole kasutusel, siis ventilatsioonimasin ei võta sissepuhkeõhu temperatuuri juhtimisel nende temperatuure arvesse. Juhtimise tulemusel oli ruumide temperatuur 90% tööajast nõutud vahemikus. Olulisematel aladel (nt. kabinetid) oli

ruumi kasutusajal soovitud temperatuur tagatud ajaliselt pea poole võrra rohkem võrreldes varasemaga. Parem sisekliima saavutati ventilatsiooni ja ruumikontrollerite koostööd parandades. Kui ruumide temperatuur oli liialt madal, siis tõsteti oluliselt ventilatsiooniõhu temperatuuri ja vajadusel suurendati õhuhulkasid, et saavutada ruumide kiirem soojenemine. Kui sisekliima vastas nõuetele, vähendati õhuvahetust ja optimeeriti sissepuhkeõhu temperatuuri. Lisaks jälgis Autopiloot ruumide soojuslikke profiile ja leidis nõnda optimaalse aja eelsoojendamise alustamiseks.

Allolevast tabelist (~~Tabel 7~~**Tabel 7**) on näha, et kui eelnevalt oli ruumis saavutatud soovitud temperatuur vaid 52–57% ajast, siis R8 juhtimisel saavutati selleks 87%. Samuti on ka näha, kuidas kontori ruumitüübi puhul on keskmine temperatuur seeläbi tõusnud 0,8-0,9°C ning madalamate temperatuuride osakaal ruumides on vähenenud 48-ilt % 10%-ni. Ruumide temperatuuride tõus tulenes sellest, et juhtimisprogramm analüüsis ruumisensorite infot ja selle abil määrati seadepunktid ventilatsioonimasinatele. BMS-s on vaid fikseeritud tagastuvõhu seadepunkt ja ruumide seadepunkte sissepuhkeõhu temperatuuri valimisel ei kasutata. Kui ventilatsioonimasina seadepunkt on valesti valitud, siis ventilatsioonimasin ei soojenda, vaid võib ruume hoopis jahutada. R8 juhtimissüsteemi poolt õigesti valitud seade arv on üks põhilisi põhjuseid, mis võimaldas ruumides saavutada soovitud kõrgemaid temperatuure.

Tabel 7. Kuupõhine kontori ruumitüübi puhul aeg (%), mil ruumis oli saavutatud soovitud temperatuurid

Kuu	Aeg, mil ruumi temperatuur oli soovitud vahemikus, %	Aeg, mil ruumi temperatuur oli madalam kui soovitud, %	Aeg, mil ruumi temperatuur oli kõrgem kui soovitud, %	Kuu keskmine kontorite temperatuur, C°
<b>September</b>	52	48	0	22.1
<b>Oktoober</b>	59	41	0	22.1
<b>November</b>	78	21	1	22.6
<b>Detsember</b>	84	14	2	22.9
<b>Jaanuar</b>	87	11	2	22.9
<b>Veebruar</b>	88	10	2	23.0

Allolevast tabelist (~~Tabel 8~~**Tabel 8**) on näha, et ruumide keskmised temperatuurid olid kabinettides (hoones enimlevinud ruumitüüp) kõrgemad võrreldes R8 juhtimiseelse ajaga. Temperatuuri said kasutajad ise määrata termostaatidest ja süsteem adapteerus nende valikule. Seega on suudetud inimestele pakkuda kütteperioodil soojemaid ruume ning

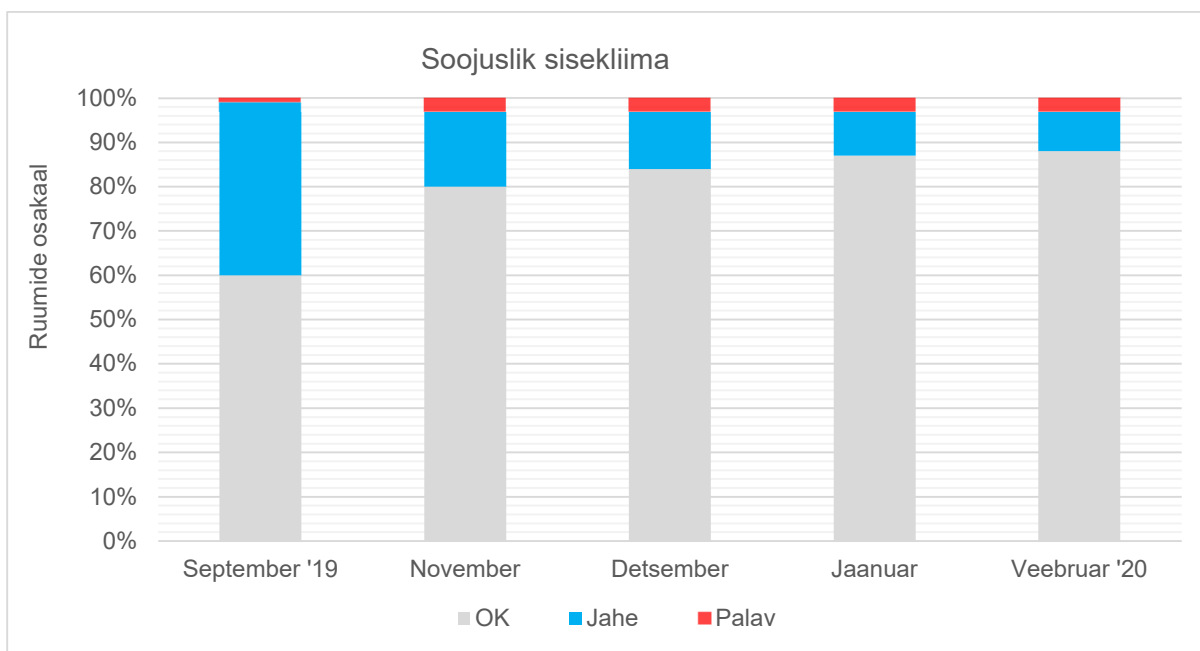


seajuures hoitud kokku soojusenergiat. Põhiline soojuse kokkuhoid saavutati vastavalt vajadusele valitud seadearvudega (nt ventilatsiooni sissepuhkeõhu temperatuur). Samuti aitas kokkuhoiule kaasa ka see, et ruumide kasutusvälisel ajal lubati suuremaid ruumi temperatuuride kõikumisi. Sama kehtib ka näiteks kohtusaalide ja nõupidamisruumide kohta, kus on hoitud vähemalt sama ruumitemperatuuri taset või soovi korral seda ka vastavalt muudetud.

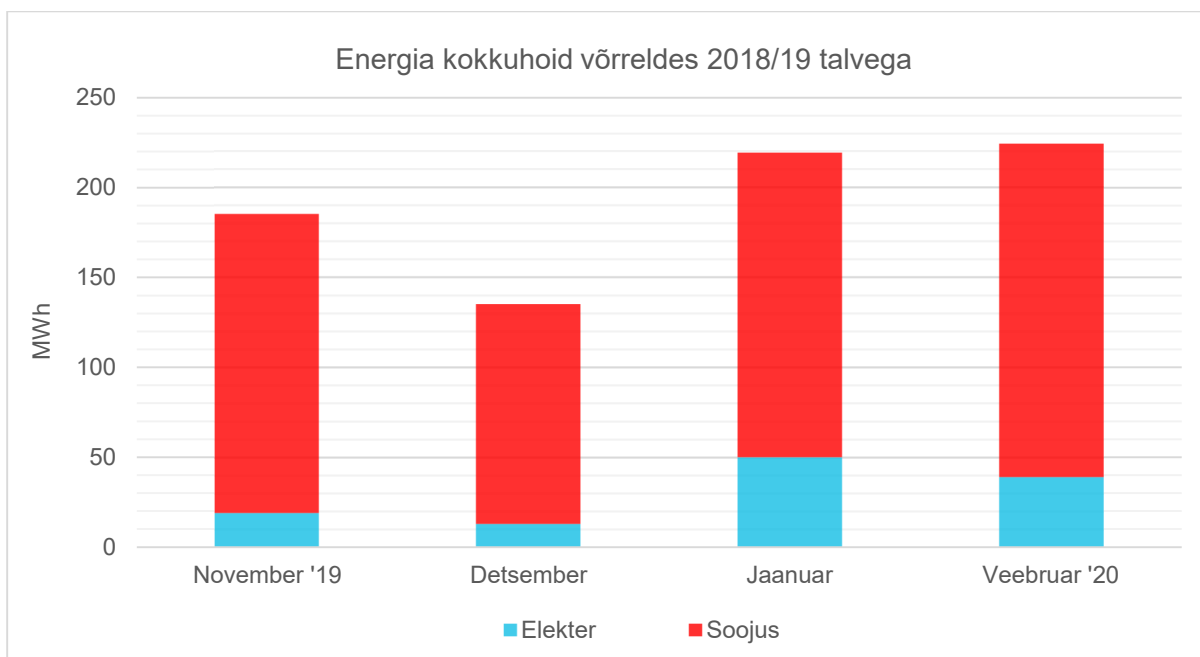
Tabel 8. Ruumide kuu keskmised temperatuurid nende kasutusajal

Ruumi tüüp	Temperatuur enne R8 juhtimist, C°		Temperatuur R8 juhtimise ajal, C°			
	September	Oktoober	November	Detsember	Jaanuar	Veebruar
Abiruum	20,5	20,9	20,2	20,2	19,9	20,1
Üldala/koridorid	19,7	19,6	21,0	20,7	20,9	21,0
Üldruum	21,9	21,9	22,4	22,5	22,6	22,7
Pesemisruum	22,7	22,8	23,9	22,1	23,3	22,4
Jõusaal	21,0	21,1	20,9	20,3	20,2	20,0
<b>Kabinet</b>	<b>22,1</b>	<b>22,1</b>	<b>22,6</b>	<b>22,9</b>	<b>22,9</b>	<b>23,0</b>
Kohtusaal	22,3	22,3	22,8	21,7	22,3	22,4
Nõupidamine	21,8	21,6	22,4	22,8	22,8	22,4
Puhkeruum	22,1	22,3	23,2	23,5	23,2	23,0

Järgnevatel graafikutel on selgelt näha, kuidas kogu hoones on suurenenud ruumide arv, mille temperatuur on soovitud vahemikus. Võrreldes septembriga, mil R8 veel hoonet ei juhtinud on see osakaal 60%-lt tõusnud 88%-ni. Samal ajal on suudetud tagada ka energia kokkuhoid, mis selle aasta veebruariks oli lausa 223 MWh, mis teeb veebruari kogu säästuks kokku üle 35 %.



Joonis 10. Soojuslik sisekliima kogu hoones. Septembris oli hoone tavapäraselt ainult BMS-i abil juhitud. November kuni veebruar oli rakendunud hoones R8 juhtimisprogramm.

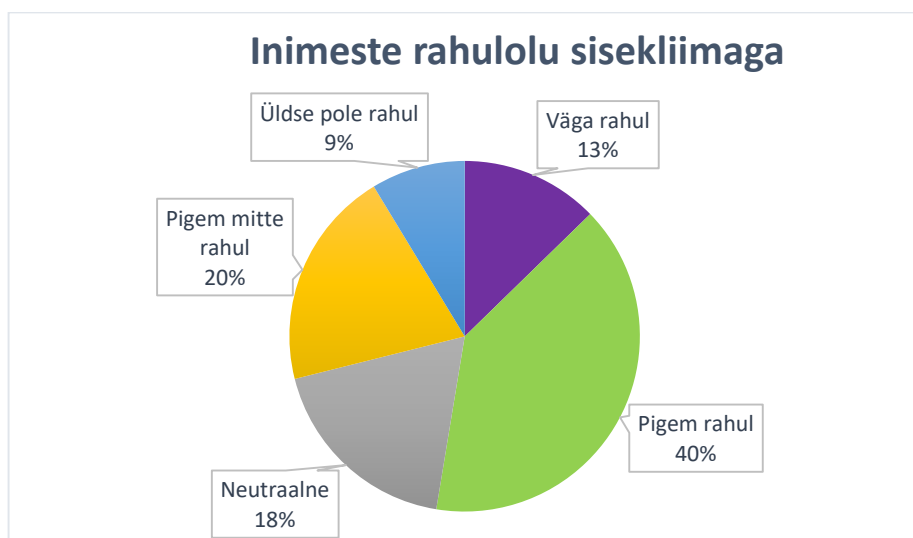


Joonis 11. Energia kokkuhoid kogu hoones võrreldes 2018/19 aasta talvega, (andmed on normaliseeritud)

## 4.5. Kliendi rahulolu

Selle aasta (2020) märtsis viidi R8 eestvedamisel koostöös haldusjuhi ja hoone kasutajatega läbi sisekliima-teemaline küsitlus, et saada tagasisidet hoone kasutajatelt. Antud küsitlus koosnes 11 küsimusest ning kokku vastas sellele 173 inimest (hoones on kokku kabinette 354, täpsemaid andmeid hoone kasutajate kohta R8-l pole).

Kõigist küsitlusele vastanutest oli sisekliimaga rahul 71%. Pigem mitte rahul oli 20% ning üldse polnud rahul ligi 9% inimestest. Maksimaalseks rahuloluks, mida on võimalik saavutada, loetakse 95%. Küll aga ei vastanud küsitlusele kõik hoone kasutajad ning seetõttu ei kajasta antud tulemus kõigi inimeste rahulolu. Tavaliselt vastavad sellistele küsitlustele pigem need, kes pole rahul või lihtsalt soovivad anda tagasisidet. Seetõttu võib eeldada, et tegelik rahulolevate inimeste hulk on tunduvalt suurem kui küsitlusest tulenev protsent. Seega võib öelda, et sisekliimaga rahulolu on küllaltki hea, kuid parandamisruumi siiski veel on.



Joonis 12. Inimeste rahulolu sisekliimaga.

Põhiline rahulolematuse põhjus oli liiga kuiv õhk, mis on Eesti kliimas talvel väga tavaline probleem ning kahjuks antud hoone puhul pole seda tehnosüsteemidega võimalik märkimisväärselt muuta, kuna hoones puudub niisutus. Samuti tuli välja, et kohati pole inimesed rahul temperatuuridega. Leidus vastajaid, kes arvasid, et temperatuurid on liiga kõrged (mis omakorda tekitas osades tunde, et õhk ei liigu piisavalt) ning leidus ka neid, kes arvasid, et ruumid on liiga jahedad. Antud olukorda on aga võimalik parandada sellega, et inimesed muudavad ruumikontrollerist seadetemperatuure või võtavad ühendust hoone haldajatega.

## 5. JÄRELDUS

### 5.1. Süsteem ja erinevad liidestamise võimalused

R8 nutikat haldus- ja juhtimistarkvara „R8 Digitaalne Operaator“ saab edukalt rakendada hoonetes (sh avalikes hoonetes), kus on tsentraalne automaatikasüsteem (BMS). Mõistagi, mida rohkem on sensoritest tulenevat infot, seda rohkem saab rakendada erinevaid juhtimisalgoritme. Küll aga saab väga edukalt rakendada R8 programmi ka hoonetes, mis pole „nutikad“ ning R8 miinimum kriteerium ongi BMS-i olemasolu. Tarkvara on veebipõhine täiendus olemasolevale automaatikasüsteemile, mis toetab autonoomselt suurandmete töötlemise süsteemi, operaatori ja haldusjuhi tööd. Lahendus võtab iseseisvalt vastu juhtimise otsuseid vastavalt kasutajate soovidele ning valideerib seejuures süsteemide tööd st. otsib protsessidest tehnilisi vigu. Samuti sobib R8 programm ka portfelli halduseks, kuna ühte kohta on võimalik kokku koondada kõigi hoonete info, mis lihtsustab oluliselt ka haldurite tööd.

R8 on tänaseks kogemusi ja oskusi liidestada kaugelt Siemens Desigo CC, Schneider Electric Struxureware, Niagara AX/NX ja Fidelixi lahendustega. Samuti on võimalik liidestada ka tootjast sõltumatu hooneautomaatikaga, milles on kasutatud peakontrolleite vahelisel suhtlusel BACnet protokoll. Eelistatum on esimene lahendus, millega välditakse täiendava riistvara paigaldamist ja haldamist. Antud projekti raames tehti kaugühendus Siemens Desigo CC automaatikasüsteemiga.

R8 süsteemiks on seadmepõhine arhitektuur, mis ühendub ka hoone infomudeliga. Infomudelidest saadavad informatsiooniga on võimalik R8-l kiirelt integreerida süsteemiga, pakkuda täpsemat seadme tootja ja tööarakteristika põhise toimivusanalüüsi, diagnostikat ning optimeerimist. Antud projekti raames koostati osaliselt infomodeli põhjal süsteemiarhitektuur koos seadmete asukohtade visualiseerimisega R8 kasutajaliideses. Küll aga esines palju puuduseid ja tekkis ka segadus leitud informatsiooni tõesuse üle. Seetõttu koostas R8 tagasiside vastavalt RKASi uutele BIM nõuetele, et tulevikus oleks antud töö kõigi osapoolte vahel sujuvam.

R8-l on programmeerimisliides (API), mille kaudu saab turvaliselt ühendada ka erinevate andmeladude, haldustarkvaradega ja teiste kolmandate osapoolte süsteemidega. Ühendamise kiirus ja vajalikkus sõltub klientide soovidest ja ärielistest eesmärkidest. Näiteks on ühendus loodud klientide soovil järgnevate haldustarkvaradega: Digihaldur, Archibus ja

Granlund. Samuti on meie arenduskavas sees projekt liidestada Eleringi andmelaoga energiaandmete kogumiseks ja analüüsimiseks.

## 5.2. Kasu erinevatele osapooltele

Lahenduse eesmärk on tehisintellekti abil, st autonoomselt tagada mugava sisekliimaga töökorras hoone, mida opereeritakse säästlikult ja efektiivselt. Vastutavatele osapooltele antakse andmete põhisel ülevaade hoone tehnilisest olukorrast ja saavutatud tulemustest.

R8 poolt tehtud tasuvusarvutuste järgi vähendab R8 Digitaalne Operaator hoone KVJ-süsteemide eksploatatsiooni- ja ehituskulusid 20 aastase eluea jooksul üldiselt vähemalt **-10%**. Täpne teenuse tasuvuse võrdlus sõltub aga ka sellest, kuidas hoone on projekteeritud, ehitatud, varasemalt hooldatud ja korrashoitud. Lisaks on toote hinnastamine välja töötatud eesmärgil, et rahalist kasu saaksid mõlemad osapooled. Seega võib klient olla alati kindel, et tellides R8 teenust, on ta kokkuvõttes juba säästnud.

Kasusaajateks on R8 Digitaalse Operaatori kasutusele võtmisega järgnevad osapooled:

### **Üürnikud ja hoone kasutajad**

- Mugav sisekliima ja vähem kaebusi
- Madalamad energiakulud

### **Hoone omanikud ja juhtkond**

- Ülevaade hoone tehnilisest olukorrast ja alltöövõtjate töö kvaliteedist
- Seadmed töötavad eksploatatsioonis eeldatava pika elueaga
- Hoonega seotud andmed on lihtsalt kättesaadavad ja jagatavad
- Digitaliseeritud hoone kõrgem väärtus

### **Tehnilised hoolduspartnerid**

- Automatiseeritud veatu vastus koos tööülesannete väljastuse ja valideerimisega
- Lihtne juurdepääs andmetele ja efektiivsuse kasv.

## 5.3. Tasuvus

### 5.3.1. Autopiloot

Antud projekti puhul saavutati Autopiloodi kasutamise 4 kuu jooksul normaliseeritud energiakulude kokkuhoiu 41 400 €. Projekti kogumaksumuseks on 13 252 €, mis sisaldab ülesseadmise kulusid, 1 kuu diagnostikat ja 4 kuud Autopilooti. Projekti kogumaksumuse lihttasuvuse arvutuste puhul oli 5 kuud kestnud projekti tasuvuseks 1,6 kuud! Seejuures pole

aga arvestatud juurde diagnostika tulemusi, sisekliima paranemist ega tehnilise personali efektiivsuse kasvu. Samuti võib tulemuste põhjal öelda, et 30% kulude kokkuvõtte perioodil on täiesti reaalne ka järgnevatel aastatel võrreldes baasaastaga. Küll aga võib öelda, et loobudes Autopiloodist ning jäädes traditsioonilise BMS-i juurde, on järgmisel talvel oodata taas kõrgemaid energiakulusid. Kõrgemad kulud on eeldatavalt tingitud asjaolust, et keegi ei vastuta edaspidi süsteemi efektiivse toimimise eest ja fakt, et inimene ei suuda arvuti arvutusvõimsusega võistelda parimate seadearvude pidevas defineerimises. Lisaks pole operaatorid niivõrd motiveeritud säästu saavutama, kui seda on R8, sest firma heaolu realselt sõltub saavutatud tulemustest.

Lubja 4 projektis on hoone tehnosüsteemides ühtekokku üle 48 000 andmepunkti ja ca 3 000 kaugjuhitavat seadet. 4-kuulise perioodi jooksul, kui töötas R8 Digitaalne Operaator, tehti ühtekokku 682 000 muudatust ja saavutati 41 400 € kokkuvõtet.

#### **Seega on programmi poolt saavutatud energia kokkuvõtet saadud tulu:**

- Ühes tunnis teenitav tulu:

$$41\,400 \text{ €} / (4 \times 30 \text{ päeva} \times 24\text{h}) = 41\,400 \text{ €} / 2\,880\text{h} = 14,4 \text{ €/h}$$

- Ühes arvutustsükli teenitav tulu:

$$14,4 \text{ €/h} / (4 \text{ arvutust/h}) = 3,6 \text{ €/arvutustsükkel}$$

- Iga tehtud muudatusega saavutatud tulu keskmiselt:

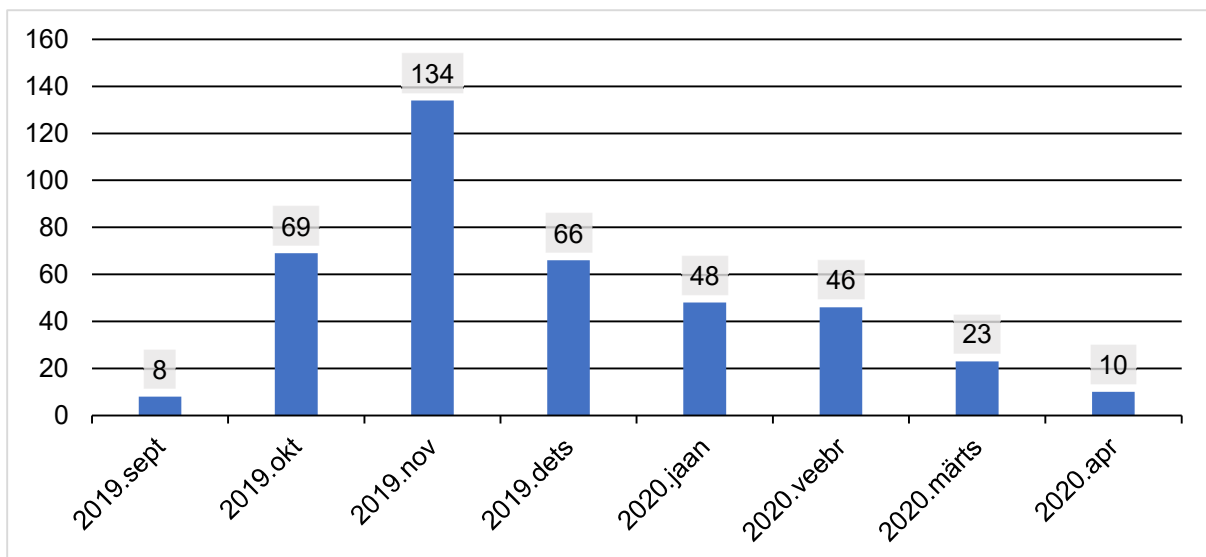
$$41\,400 \text{ €} / 682\,000 \text{ muudatust} = 6,1 \text{ senti.}$$

#### **5.3.2. Diagnostika**

Antud projektis viitasid diagnostika tulemused selgelt olulistele puudustele ja tehnilistele riketele automaatika, ventilatsiooni-, jahutuse- ja küttesüsteemides, mille parandamine võimaldaks saavutada täiendavat kokkuvõtet. Kuna hoone on uus, siis antud juhul kohustub ehitaja likvideerima puudused garantiiperioodi jooksul. Seega on diagnostika ja toimivusanalüüsi tegemine hoone garantiiperioodil kõrge väärtusega, kui soovitakse saavutada hästi funktsioneeriv hoone selle eeldatava elukaare jooksul.

### 5.3.3. Tehniline hooldus

Suurte hoonete puhul lihtsustab R8tech haldusplatvorm ka hooldusmeeskonna tööd. Eriti tasub välja tuua ruumide jälgimise võimekust, mis aitab hõlpsasti saada kiire ülevaate terve korruse sisekliimast ja vajadusel jälgida ka ruumi kaupa selle sisekliima ajalugu ning teha kliendi soovidest lähtuvalt muudatusi. Samuti edastatakse tehnilisele hooldusmeeskonnale automaatselt tuvastatud rikked ning valideerimisega tehnilisele personalile, sh. vähendatakse operaatori tööd hoone automaatikasüsteemi jälgimisel ja seadistamisel. Operaatori seadistamise ülesandeid suudavad algoritmid täita automaatselt suurema täpsuse ja efektiivsusega. Järgnevalt on välja toodud ka R8 veebiplatvormi sisselogimiste arv kuude lõikes (see sisaldab ainult operaatoreid, tehnikuid ja teisi hoonega seotud isikuid v.a. R8 enda töötajad), kust on näha, et inimesed logivad igapäevaselt R8 platvormile mitmeid kordi sisse, et saada informatsiooni, mida BMS neile ei paku.



Joonis 13. R8 veebiplatvormile tehtud sisselogimised Lubja 4-ga seotud inimeste poolt (v.a. R8 töötajad).

## 6. KASUTAJA TAGASISIDE

Riigi Kinnisvara AS koostöös Lubja 4, Tallinn kohtuhoone tehnohoolduspartneriga Kinnisvarateenindus OÜ katsetas ettevõtte R8 tarkvaralahendust viie kuu jooksul. Käesolev peatükk on kirjutatud nelja kasutaja tagasiside põhjal (Mikk Maivel (Riigi Kinnisvara AS); Jaanika Aru (Riigi Kinnisvara AS); Hendrik Karhu (Kinnisvarateenindus OÜ); Tanel Stomma (Kinnisvarateenindus OÜ)).

### ***Diagnostika moodul:***

#### ***Kui palju oli abi R8 diagnostika moodulist ja selle abil tuvastatud veateadetest?***

R8 rakenduse poolt 24/7 teostatav diagnostika oli abiks tehnohooldusel ja aitas kiiremini ja varasemaga võrreldes varem tuvastada süsteemis esinevaid rikkeid (kütte- ja jahutusventiilide samaaegne koostöö; ruumiregulaatorite mitte töötamine jne.). Tehisintellekti poolt tuvastatud veateated on oluliselt informatiivsemad ja annavad parema ülevaate, kui tavalise hooneautomaatika tarkvara poolt edastatavad automaatteavitused. Tarkvara leidis süsteemivead, mida üldjuhul avastatakse vaid iga-aastase hooneautomaatika hoolduse käigus. Varajasem rikke avastamine aitas kaasa kasutajate rahulolu kasvule ja energiatõhususe suurenemisele. Erinevalt tavalisest hooneautomaatikast R8 ei saanud korduvaid veateateid.

#### ***Kas ja kui palju vähendas R8 hoone tehnohoolduse tööd?***

R8 tehnohooldaja tööd ei vähendanud. Lokaalne probleemi lahendamise kohustus jäi endiselt ning programm otseselt ei vähendanud tehnikute tööd, küll aga aitas tõsta töö kvaliteeti ja sisekliimat. Tehnohoolduse tehniku peamine tööriist on siiski lokaalne hooneautomaatikasüsteem, mis võimaldab kohapealset süsteemi katsetamist ja kontrolli peale vea parandamist.

#### ***Kas kasutasite ka programmi töötaotluste suunamise võimekust?***

Vähesel määral. Paljud tehnohooldusettevõtted kasutavad erinevaid rakendusi mistõttu töötaotluste haldamiseks lisarakenduse kasutuselevõtmine ei tundunud mõistlik. Testimisel ei õnnestunud ka häirete kviteerimine.



***Kas diagnostika moodul sobib ka hoone vastuvõtmiseks ehitajalt?***

Diagnostika aitab tuvastada palju ehitaja poolseid probleeme automaatikastruktuuris, mille tuvastamine inimese abil on taolise suure hoone puhul väga aeganõudev ja kulukas.

***Kas diagnostika tuvastas rohkem probleeme kui operaator?***

Diagnostika on võimeline tuvastama rohkem probleeme, kuna suudab opereerida suurte andmemahutudega ja töötab 24/7.

***Autopiloot:***

***Kas ja mille juhtimisega sai R8 autopiloot võrreldes tavapärase hooneautomaatikaga paremini hakkama?***

R8 juhtis väga efektiivselt ja kliendirahulolu tõstvalt hoone ruumikliimat. Kasutajate rahulolu ruumiõhu kvaliteediga kasvas. R8 soovis paremini tagada soovitud ajavahemikul soovitud ruumiõhutemperatuuri ning suutis paremini tööpäeva alguseks tagada soovitud temperatuurivahemikud.

***Kas R8 autopiloodi töökindlus oli piisav, kas esines probleeme ja katkestusi?***

Töökindlus on piisav. Paar intsidenti oli, kus kadus maja ja R8 vaheline ühendus ja ventilatsioon ei läinud hommikul automaatselt tööle ning ei suudetud hommikuks tagada soovitud ruumitemperatuure.

***Üldine programmi tagasiside:***

***Kas ja millistele hoonetele R8 sobib?***

Kasutajate subjektiivsel hinnangul R8 sobib hoonetele, kus on olemas tsentraalne hooneautomaatikasüsteem ning kus tsentraalse hooneautomaatikaga on seotud ka ruumikliima juhtimine. Kuna R8 autopiloot toimib pilvepõhise tarkvara abil, siis sidekatkestuse korral võib esineda probleeme, mistõttu programm on sobilikum hoonetele, kus ei ole väga suuri nõudmisi sisekliima kvaliteedile (nt. kaubanduskeskused, büroohooned, koolid, lasteaiad jne.). Hooned, kus on kõrgemad nõudmised ruumikliimale (muuseumid, arhiivid, haiglad jne.) osas võiks kaaluda esialgu vaid diagnostikamooduli rakendamist ning autopiloodile üleminekut kaaluda lähtuvalt lokaalse BMSi tarkvarast ja liidestamisest – juhul kui R8 katkestusel võtab

kliimajälgimise üle lokaalsüsteem automaatselt siis võib kaaluda ka R8 Autopiloodi kasutusele võttu.

### ***Kust ja mille arvelt tekkis arvestav energiasääst?***

Lubja 4 kohtuhoone võeti kasutusele kliendi poolt 2018 aasta III kvartalis. Seetõttu 2018 IV kvartal kuni 2019 IV kvartal ehk nõ baasaasta ei näidanud kindlasti hoone õiget tarbimist, kuna hoone valmimise järgselt peavad hoone ventilatsioonisüsteemid enim töötama, et hoonest välja viia kasutajatele kahjulikud materjalide ja siseviimistluse emissioonid. Lisaks hoone kasutusrežiimide paika seadmine ja automaatika peenhäälestus võtab keskmiselt 1 täisaasta. Küll aga sellest hoolimata tõi R8 diagnostika välja väga olulisi puudusi ning autopiloot aitas oluliselt paremini paika reguleerida ruumikliimat. Suur sääst tuli olulisel määral hoone tehnosüsteemide nutikamast vajaduspõhisest reguleerimisest (hoone õhuvahetuse kasutusajad vähenesid, eriti oluliselt vähenes parklakorruste õhuvahetus, mis oli eelnevalt tugevalt üleventileeritud).

### ***Kas programm on kasutajasõbralik?***

Programm on märksa kasutajasõbralikum kui tavaline hooneautomaatika üldjuhul on. Programmis on väga mugav vaadata erinevate perioodide trende ja saada kiiret ülevaadet hoone tehnilisest olukorrast. Rakendus on hästi ja mugavalt ligipääsetav nii arvutist, tahvelarvutist kui ka nutitelefoni.



EUROPEAN  
REGIONAL  
DEVELOPMENT  
FUND



**EFFECT4buildings**

## KOKKUVÕTE

EFFECT4Building raames rakendas R8 Technologies OÜ modernses büroohoones Lubja 4, Tallinn hooneautomaatika diagnostika, optimeerimise ja energiamonitooringu tehisintelligentset tarkvara R8 Digitaalne Operaator. Hoone suuruseks on 25 304m<sup>2</sup>, milles on 823 ruumi ja automaatikasüsteemis ühtekokku 48 813 andmepunkti.

Tarkvara kasutusele võtmine koosnes kolmest peamisest etapist:

1. Hoone andmete süstematiseerimine, masinloetavaks ja -kirjutatavaks tegemine.
  - Kaugühendamine hoone automaatikasüsteemiga Siemens Desigo CC v3.0.
  - Hoone infomudeliga (BIM) ühilduva süsteemi arhitektuuri loomine.
2. Diagnostika – tehnosüsteemide toimivusanalüüs ja automaatne veatuvastus.
3. Autopiloot – tehisintelligentse juhtimissüsteem, rakendatud vahemikus 01.11.19 – 29.02.20 (4 kuud).

### Tulemused:

- Autopiloodi rakendamisel saavutati märkimisväärset kokkuhoidu ja suurem soojuslik mugavus võrreldes klassikalise operaatori-põhise juhtimisega. Kokku hoitud energiakulud 4 kuuga (normaliseerituna st. kliimateguri välistamisega): **41 400,40 €** ja vähendatud **179 t CO<sub>2</sub>** heitmeid (ca 10 rekka koormatäit).
- Diagnostika tulemusel leiti mitmeid automaatika, ventilatsiooni-, jahutuse- ja küttesüsteemide tehnilisi puudujääke ja rikkeid, mis põhjustavad ebamugavat sisekliimat, energia ülekulu, vähendavad seadmete eeldatavat eluiga ja suurendavad hoolduskulusid.
- Suurendati tehnilise personali töö efektiivsust - automaatselt tuvastatud rikete edastus koos valideerimisega tehnilisele personalile, sh. vähendati operaatori tööd hoone automaatikasüsteemi jälgimisel ja seadistamisel. Operaatori ülesandeid suudavad algoritmid täita automaatselt suurema täpsuse ja efektiivsusega.
- Projekti 5-kuulise testperioodi kogumaksumuse otseseks **lihttasuvusajaks oli 1,6 kuud** arvestamata saavutatud tulu diagnostikast, sisekliima mugavusest ja tehnilise personali efektiivsuse kasvust.

- Hoonesse paigaldatud erinevad tehnoloogilised lahendused (hooneautomaatika, ruumikliima täisautomaatne juhtimine, energiasäästlik ventilatsioon jne.) on õigustanud paigaldust ja võimaldavad tagada hoone kasutajatele väga hea sisekliima küll aga on vaja panustada süsteemide nutikasse juhtimisse, et saavutada veelgi parem tulemus ja energiasäästlikkus.

## SUMMARY

R8 Technologies OÜ implemented an artificially intelligent diagnostics, optimization and energy monitoring software solution R8 Digital Operator in a modern office building located at Lubja 4, Tallinn Estonia. The software is designed as a remote add-on solution for existing building automation systems. The tested building's size is 25 304m<sup>2</sup>, consists of 823 rooms and 48 813 data points.

The onboarding consisted of three main steps:

1. Making the building data points machine readable and writable
  - Establishing emote connection with the building automation system Siemens Desigo CC v3.0.
  - Extracting design information and generating system architecture compatible with BIM.
2. Diagnostics – HVAC systems performance analysis and automated fault detection.
3. Autopilot – artificially intelligent control optimization system. Applied during 01.11.19 – 29.02.20 (4 months).

### Results:

- Autopilot achieved significant savings and increased thermal comfort over classical operator-based control. Saved energy costs over 4 months (normalized, climate factor excluded): 41 400,40 € and reduced CO2 emissions of 179 tons (about 10 trucks load).
- Diagnosis identified several technical failures and malfunctions in building automation, ventilation, cooling and heating systems which cause poor indoor climate, energy over consumption, reduce equipment life expectancy and increase maintenance costs.
- Increased efficiency of technical staff - automatically detected faults with description and validation were forwarded to technical personnel. Also, operator's work for

monitoring and adjusting the automation systems was minimized. Algorithms can automatically perform operator's tasks with greater accuracy and efficiency.

- The direct payback of the 5-month test period was 1.6 months without considering the benefits from diagnostics, indoor climate comfort and efficiency gains for technical staff.

# LISAD

## Lisa 1 – R8 BIM andmesisu nõuded

Data content requirements, Equipment			
Nr	Requirement/attribute	Example	Explanation
01	Device	Balancing valve	General description
02	Type	SV DN50 Ball	Type description
03	System	111 - Ventilation Heating Circuit	System number - System general description
04	Number	321TV04	Equipment number
05	Technical characteristics	IP21, 5.9l/s, 1120 W etc	Electrical, liquid and air side technical characteristics (e.g. IP class, KV-value, power, nominal diameter). Dimensioning parameters (e.g. T1, T2, massflow, pressure, power)
06	Manufacturer	Ames Fire & Waterworks	The manufacturer of the device
07	Model	MUT-3000	The model number of the device
08	<i>Product info</i>	<i>\Tehnohooldus\241_Küttesüsteemide_TH\MUT-3000-seeria.pdf</i>	The element is tied to the info page via link
09	<i>User and maintenance guide</i>	<i>\Tehnohooldus\241_Küttesüsteemide_TH\juhend.pdf</i>	The element is tied to the guide via link
10	Code	321TV04	The code that should be used to name the tags in the automation system
11	ConnectedTo	Direct child connection to element	This objectified 1 to 1 relationship provides the generalization of the connectivity between elements.
12	ConnectedFrom	Direct parent connection to element	

IFC class usage requirements		
IFC class	System	Description
IfcSpace	Space	Room spaces
IfcAirTerminalType	Equipment	Supply and return air diffusers, air distributors, transfer air grates
IfcAirTerminalBoxType	Equipment	Airflow adjustment devices (e.g. VAV, CAV dampers)
IfcAirToAirHeatRecoveryType	Equipment	Heatexchangers
IfcBoilerType	Equipment	Boilers
IfcChillerType	Equipment	Chillers, coolers, dry-coolers
IfcCoilType	Equipment	heating and cooling coils
IfcCompressorType	Equipment	Compressors
IfcCondenserType	Equipment	Condensers
IfcCooledBeamType	Equipment	Chilled/cooled beams
IfcDamperType	Equipment	Adjustment, fire barrier, smoke barrier, balancing, and check valves etc.
IfcEvaporatorType	Equipment	Evaporators
IfcFanType	Equipment	Fans
IfcFilterType	Equipment	Filters

IfcFlowMeterType	Equipment	water, gas, electricity and energy meters
IfcHeatExchangerType	Equipment	Plate and liquid heat exchangers
IfcHumidifierType	Equipment	Humidifiers and driers
IfcPumpType	Equipment	Pumps
IfcSpaceHeaterType	Equipment	Radiators, convectors, air curtains, air heating equipment
IfcTankType	Equipment	Tanks, expansion vessels and containers for gases and liquids
IfcValveType	Equipment	Valves, dampers, failsafe equipment
IfcElectricFlowStorageDeviceType	Equipment	Batteries, UPS
IfcElectricHeaterType	Equipment	Electrical heating devices
IfcControllerType	Equipment	Automation Controllers
IfcActuatorType	Equipment	Actuators
IfcCoolingTowerType	Equipment	Cooling Towers
IfcElectricMotorType	Equipment	Motors, fan motors etc
IfcSensorType	Equipment	Sensor type: Temperature, CO2, pressure, movement, light
IfcGasTerminalType	Equipment	Gas boilers and equipment
IfcUnitaryEquipmentType	Equipment	Air handling units (AHU), split systems



## Lisa 2 – Diagnostika raport

### 1. ÜLEVAADE TEHTUD TÖÖST

Lubja 4 kohtumaja tehnosüsteemide diagnostika raport põhineb vahemikul 20.08 – 20.09.2019 kogutud andmetel. Antud andmete põhjal teostatud analüüsi tulemused on esitatud järgnevalt peatükkide kaupa. Diagnostika raporti hulka kuulub lisaks antud failile ka Exceli fail, kus on kirjeldatud iga kontrolleriiga varustatud ruumi detailne diagnostika tulemus.

### 2. HOONE

Antud hoones pole põrandküte liidestatud BMS süsteemiga ning seetõttu puudub ülevaade, mis täpselt antud süsteemis toimub. Samuti olid õhkkardinad ja osad mõõtjad meile liidestamiseks mitte kättesaadavad, kuna nad asusid BMSis ainult Management Views (administraatori vaade), mitte kasutajavaates (operaatori vaade).

#### 2.1. Ruumid (mõeldud sensori või kontrolleriiga ala)

Antud perioodil oli hoone kõikide ruumide keskmine temperatuur 22,1 °C. Kõige madalam keskmine temperatuur vaadeldud perioodil oli 18,9 °C (2213, *Kilbiruum*) ning kõige kõrgem 24,0 °C (6132, *Kabinet*).

#### **Ruumides tuvastatud probleemid:**

- Ruumides 2048, 1352, 4206 olid kütte seadetemperatuurid vahemikus 24,6 – 29,0°C.
- Jahutuse seadetemperatuur oli üle 28°C (kuni 40°C) 38 ruumis.
- Üheksas ruumis oli jahutuse seadetemperatuur 40°C ja kütte oma 12°C (neist 6 ruumi olid kabinetid).
- Ruumide küttegaafikut võiks tõsta, kuna suur osa ruumidest (52 tükki) olid vahemikus 09.09.2019-16.09.2019 terve aja küttes ning ei saavutanud oma etteande temperatuure. R8 optimeerimise algoritmid võtavad selle automaatselt arvesse.

- Ruumid 3084, 3085, 1003, 1050, 1310, 2018, 2232, 4002, 4005, 4019, 4030a, 6211 olid 09.09.2019-16.09.2019 terve aja jahutuses. Arvatavasti jääb ruumides jahutusvõimsusest puudu. Võimalik, et jahutusseadmeni viivad kraanid on käsitsi kinni keeratud.
- Ruumides: 1011, 1055\_56, 1057\_59, 1352, H1010, 2067, 4001\_1, 72010\_12 tagastab ruumi temperatuuri andur 0 väärtused.
- Ruumides A3035, 3084, A2044 toimus kütmine ja jahutamine samaaegselt.
- Põrandkütet ei juhita ruumipõhiselt, see tähendab, et hetkel pole enamikes põrandküttega varustatud ruumides temperatuuri kontrollereid ja seal kus on, pole hetkel selgelt pilti, kas neid üldse kasutatakse põrandkütte kontuuride juhtimiseks.
- VAV klappide seadearvud on osadel juhtudel %, osadel juhtudel m<sup>3</sup>/h. Samas ühtegi õhuhulga anduri punkti me ei leidnud. Selget arusaama, kuidas VAV klappe juhitakse, me ei suutnud saada. R8 poolt sooviksime saada selgituse VAV klappide juhtimisloogika kohta.

### 3. BIM

Korralik BIM mudel aitab R8-ls kiirendada integratsiooni protsessi ning annab lisa võimaluse automaatika süsteemi struktuuri valideerimiseks. BIM mudeli kasutamine on meie jaoks võrdlemisi uudne praktika ja teatud asju me alles ise õpime. Sellegipoolest saime BIM mudeli põhjal tehtud IFC faile kasutada integratsiooni protsessis.

BIM mudelist saime korruseplaanide joonised koos ruumi numbritega. Selle põhjal sidusime automaatika süsteemist saadud punktid asukohtadega korruseplaanil. Kuigi antud juhul oli ka probleemiks ruumi numbrite uhtumine IFC faili ja automaatika süsteemi ruumi numbritega. Näiteks IFC failis olnud "/" märk oli automaatika süsteemis asendatud "\_" märgiga ja korpused ruumi numbrites olid erinevalt tähistatud. Lahenduseks tuli käsitsi reegleid defineerida ruumi numbrite sidumiseks.

Meile saadetud IFC failides oli puudulik ruumi komponentide märgistamine. Meid ennekõike huvitavad radiaatorid, fancoilid, põrandküte ja aktiivjahutuspalgid. Radiaatorid olid hästi leitavad, kuid muud komponendid olid puudulikult tähistatud, nii et automaatselt komponente otsides ei suutnud me neid eristada. 13. Septembril me saime uued IFC failid, kus olid

Fancoolid juba paremini eristatud, komponendi „Description“ välja järgi sai neid eristada. Hetkel me ei ole veel täielikult valideerinud kattuvust automaatikasüsteemi punktidega.

Üldiselt võib öelda, et antud projektis oli BIM mudeli põhjal probleemiks failide halduse administratiivne pool. Me ei teadnud alguses, missuguse faili versiooni me täpsemalt saime. Disaini büroodes kasutatakse teatud tarkvara mudelite tegemiseks ja sealt saab neid eksportida IFC formaati. Eksportimise käigus saab valida mis elemente eksporditakse ja kuidas neid tähistada. Antud juhul juhtus nii, et saime faili, kus ei olnud kõike vajalikku lisatud. Oleks väga abi kui oleks olemas standardid, mis määratleksid IFC faili sisu erinevateks juhtudeks (teadaolevalt RKAS ja Novarc juba tegelevad sellega). Samuti meil oli nii mõndagi õppida, sest veel hiljuti meil ei olnud head arusaama mille alusel IFC failid on genereeritud. Tulevikus kindlasti teame küsida paremaid versioone.

## 4. ARVESTID

Hoone energiakasutuse analüüsimiseks ja optimeerimiseks on ütle mata tähtsad KVJ süsteemide energiakulu mõõtvad elektri ja soojuse arvestid. Õnneks on Lubja 4 hoone nendega hästi varustatud. Kahjuks õnnestus automaatikasüsteemist mõõtjate andmeid lugeda väga piiratud ulatuses.

- Kõigi KVJ süsteemide tööd mõõtvate elektri arvestite jaoks on vaja R8tech jaoks loetavalt välja tuua kõikide arvestite energiakulud (mõlemad tariifid). Lisaks võimalusel ka summaarne energiakulu kahe tariifi peale kokku ja hetkvõimsus.

- Kõikide soojusmõõtjate jaoks on vaja automaatikasüsteemi R8tech jaoks loetavalt välja tuua kõikide soojusarvestite:

- pealevoolu temperatuur
- tagasivoolu temperatuur
- hetkvoolehulk (nt m<sup>3</sup>/h)
- kumulatiivne vooluhulk (nt m<sup>3</sup>)
- hetkvõimsus (nt kW)
- kumulatiivne tarbitud energia (nt kWh)

## 5. SOOJUSSLÕLM

Kütteperioodi välisel ajal ei saa täielikult teostada antud režiimi diagnostikat, küll aga ilmnesid mõningad situatsioonid, mis on esitatud järgnevas peatükis.

- BMS piltide pealt on puudu küttegaafikud. Seetõttu ei suuda me täie kindlusega välja selgitada, millised on küttegaafiku punktid ja seetõttu ei saa me hetkel küttesõlmede optimeerimisega algust teha.

- Projektdokumentatsiooni järgi peaksid kõik pumbad olema varustatud sagedusmuunduritega. BMS süsteemis ei leia nende kohta mingisugust infot.

### 5.1. Üldised tähelepanekud

Soojussõlm järgis etteantud seadepunkti, kuid seadepunkt võiks arvestada ka nõudlust. Hetkel töötavad kõik soojasõlme osad kogu aeg. Nõudluspõhine juhtimine on osa R8 optimeerimisplatvormist.

Tabel 9. Soojasõlme ringluste statistikud (selgitused [Tabel 10](#)~~Tabel 10~~).

component_group	unit_id	ahu_name	on_percentage	SWTsp	SWT	SWT_max	SWT_min	RWT	RWT_max	RWT_min	DeltaT	D_sp	D_sp_max
0	HROOMCIRC_26	1974 Põrandküte	100	33.2	33.2	35.3	30.4	31.0	32.5	29.1	2.1	0.0	2.1
1	HROOMCIRC_25	1972 Radiaatorküte	100	36.7	36.7	46.0	27.9	31.3	36.1	27.0	5.4	0.0	2.6
2	HDHWCIRC_15	1975 Soe Tarbevesi	100	55.0	54.7	60.6	44.8	46.7	49.7	25.9	7.9	0.3	10.2
3	HAHUCIRC_28	1978 Ventilatsiooni kütteringlus	100	38.9	39.0	47.6	31.2	39.1	46.8	31.7	-0.1	-0.1	1.3

Tabel 10. Soojasõlme statistikute lühendite kirjeldused.

component_group	- Heating circuit R8 identifier
unit_id	- Heating circuit R8 unit id
ahu_name	- Heating circuit name
on_percentage	- Percentage of time heating circuit was ON
SWTsp	- mean supply water temperature setpoint
SWT	- mean supply water temperature
SWT_max	- max supply water temperature
SWT_min	- min supply water temperature
RWT	- mean return water temperature
RWT_max	- max return water temperature
RWT_min	- min return water temperature
DeltaT	- average supply and return water temperature difference
D_sp	- average supply water temperature difference from set point
D_sp_max	- maximum supply water temperature difference from set point

## 5.2. Sooja tarbevee ettevalmistamine

Sooja tarbevee temperatuur püsib seadepunkti läheduses, kuid automaatika ei suuda kunagi saavutada stabiilset seadepunkti (vaata [Joonis 14](#) ~~Joonis 14~~).



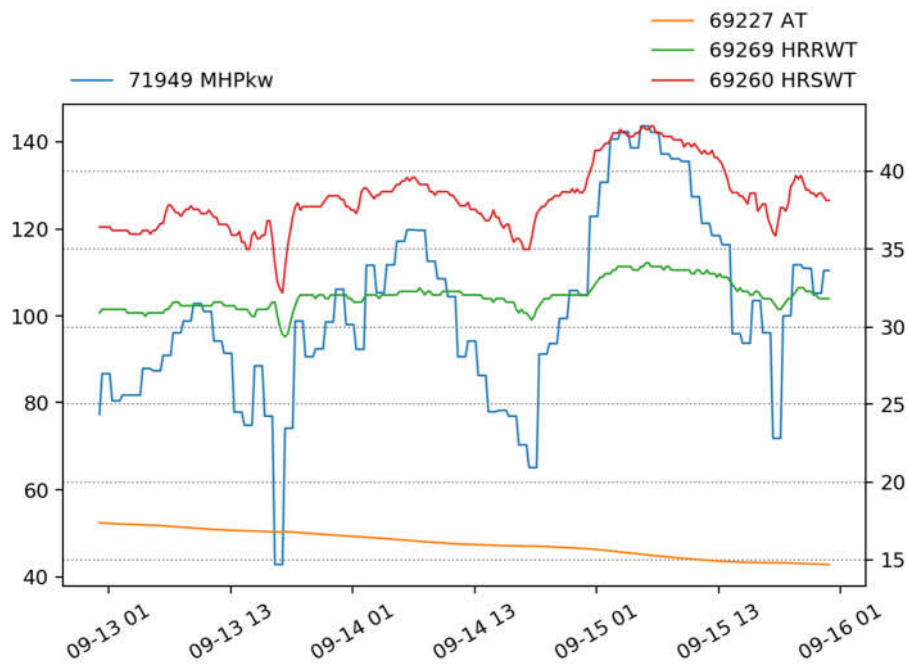
Joonis 14. Lubja 4 sooja tarbevee peale- (HDHWSWT) ja tagasivoolu (HDHWRWT) temperatuur, seadepunk ja ventiili asend (HDHWVO) nädala jooksul.

## 5.3. Radiaatorküte

Radiaatorkütte kontuuris ei arvestata pumpade juhtimisel reaalse soojusvajadusega. Radiaatorkütte kulu on suur nii öisel perioodil kui ka nädalavahatustel.



Joonis 15. Lubja 4 radiaatorkütte peale (HRSWT)- ja tagasivoolu (HRRWT) temperatuur, seadepunk (HRSWTCTSP) ja ventiili asend (HRVO) nädala jooksul.



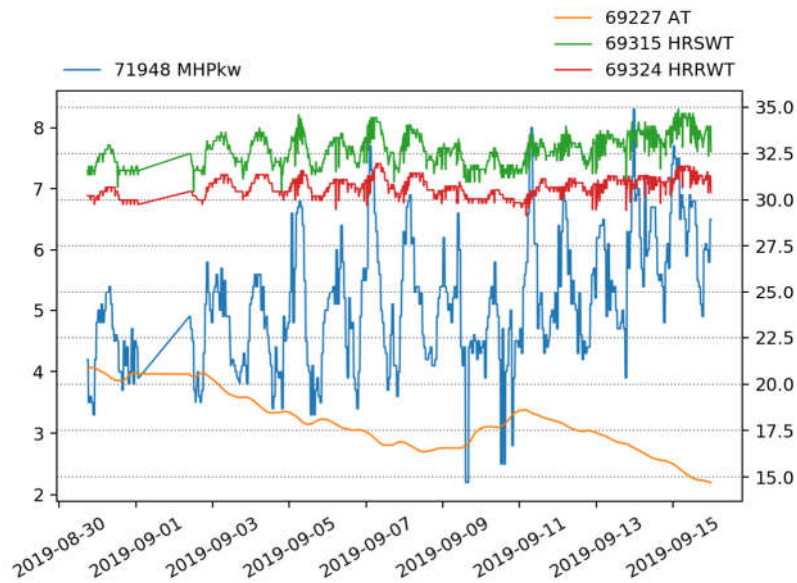
Joonis 16. Lubja 4 radiaatorkütte peale- ja tagasivoolu temperatuur (HRSWT, HRRWT), hetkvõimsus (MHPkw) ja välisõhutemperatuur (AT). Suur tarbimine on nähtav pühapäeval, 15. septembril.

## 5.4. Põrandküte

Põrandkütte pealevoolu temperatuur püsib seadepunkti läheduses, kuid automaatika ei suuda kunagi saavutada stabiilselt seadepunkti (vaata [Joonis 17](#) ~~Joonis 17~~).



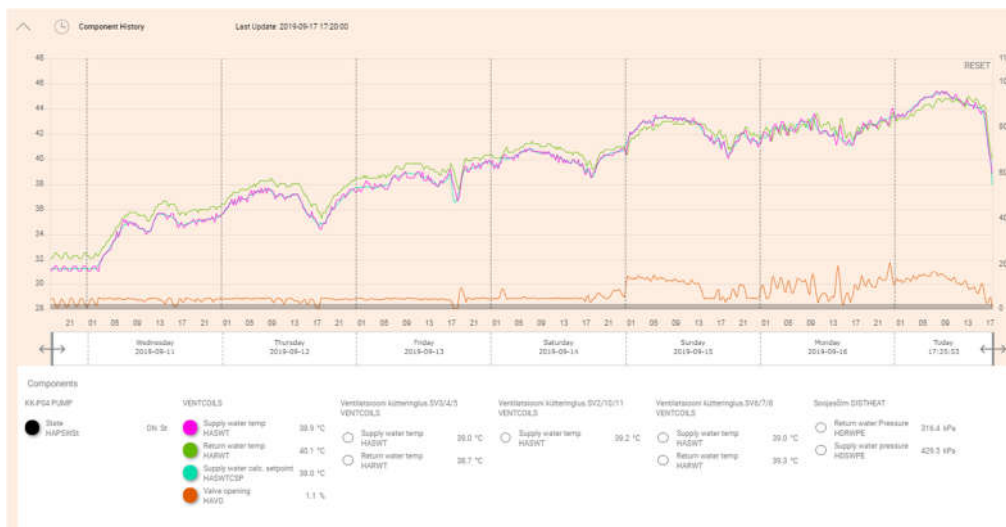
Joonis 17. Põrandkütte vee peale (HRSWT)- ja tagasivoolu (HRRWT) temperatuur, seadepunkt (HRSWT CSP) ja ventiili asend (HRVO) nädala jooksul.



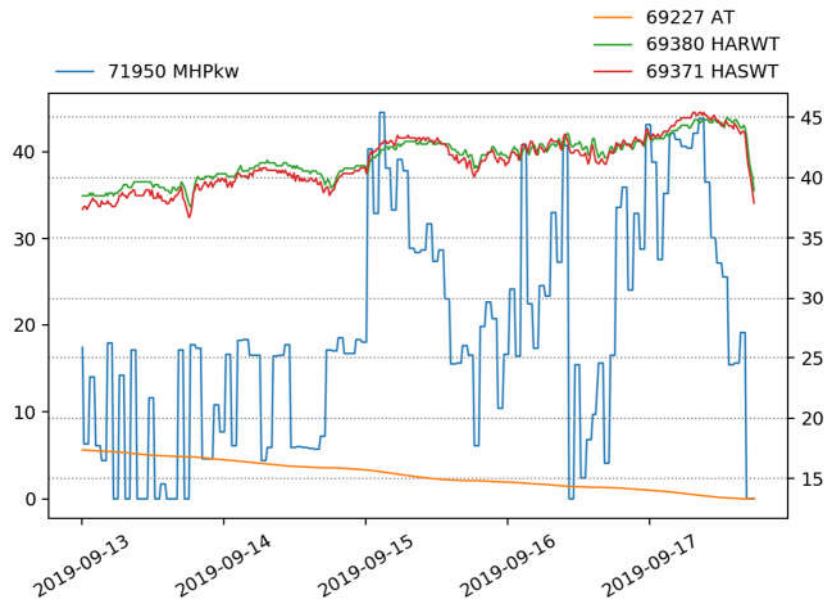
Joonis 18. Põrandakütte vee peale- ja tagasivoolu temperatuur (HRSWT ja HRRWT), õhutemperatuur (AT) ja küttevõimsus (MHPkw).

## 5.5. Ventilatsiooni küte

Ventilatsiooni küttes on vee peale- ja tagasivoolu temperatuurid vahetuses. Hetkel juhitakse tegelikult vee tagasivoolu temperatuuri. Temperatuuri erinevus peale- ja tagasivoolu vahel on minimaalne. Ka nädalavahetustel on oluline ventilatsiooni küttekulu, kuna ventilatsiooni masinad töötavad kogu aeg ([Joonis 20](#), [Joonis 20](#)).



Joonis 19. Ventilatsioonikütte peale- (HASWT) ja tagasivoolu (HARWT) temperatuur, seadepunkt (HASWTCSP) ja ventiili asend (HAVO) nädala jooksul.



Joonis 20. Ventilatsioonikütte vee peale- ja tagasivoolu temperatuur (HASWT ja HARWT), õhutemperatuur (AT) ja küttevõimsus (MHPkw) 13. – 18. septembril. Suur tarbimine on nähtav pühapäeval, 15. septembril.

## 6. JAHUTUSSÕLM

- Jahutussõlme juhtimine toimub küttesõlmede jaoks mõeldud kontrolleriaga. Seetõttu on äärmiselt keeruline jahutussõlme tööst selget pilti saada. Üldjoontes on infot jahutussõlmede toimimise kohta äärmiselt vähe. Mitmed pumbad peaksid olema varustatud pumba kiirust reguleerivate sagedusmuunduritega, aga reaalsuses ei suuda me isegi kindlalt väita, kas pump töötab või mitte.

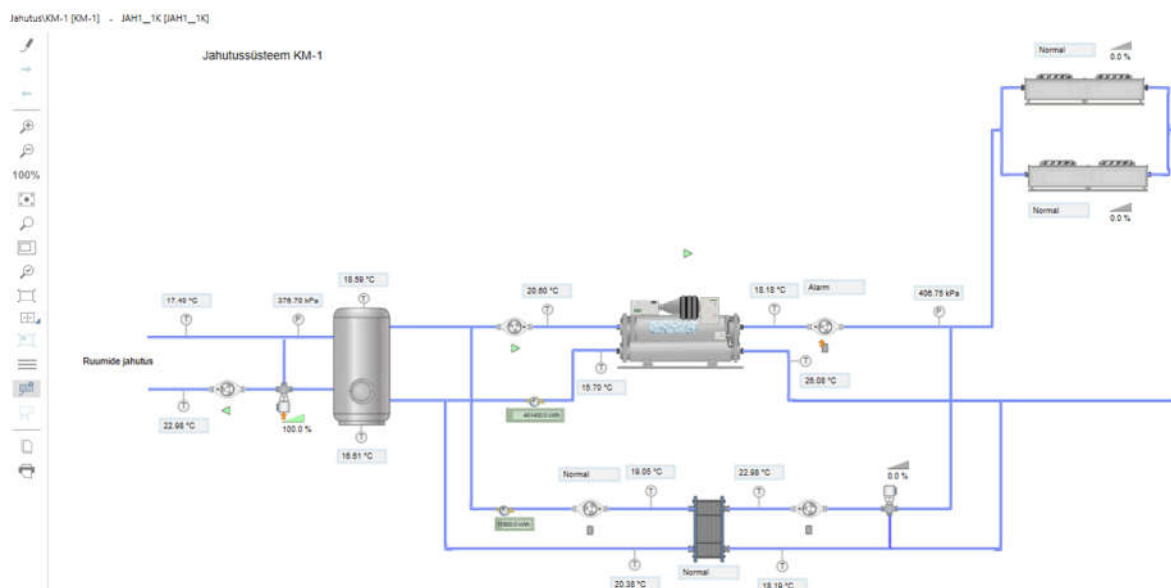
- BMS piltide peal pole mitte ühegi anduri ega pumba juures selle numbrit või koodi.
- Arvestite pealt on välja toodud ainult koguenergia.
- Seadepunkte, mis jahutussõlme tööd peaksid reguleerima, ei õnnestunud leida.

### 6.1. Jahutussõlm 1:

- Pikka aega näitas BMS, et glükooliringluse pump seisab (mis üldjuhul peatab kohe kogu jahutussõlme töö), aga jahutussõlm tundus töötavat normaalselt.



- Ruumiringluse pealevoolu ja vabajahutuse glükoolipoole punktid näitavad ühte ja sama väärtust. Reaalselt on tegu väga erinevate anduritega.



Joonis 21. Jahutussüsteemi KM-1 skeem BMS's

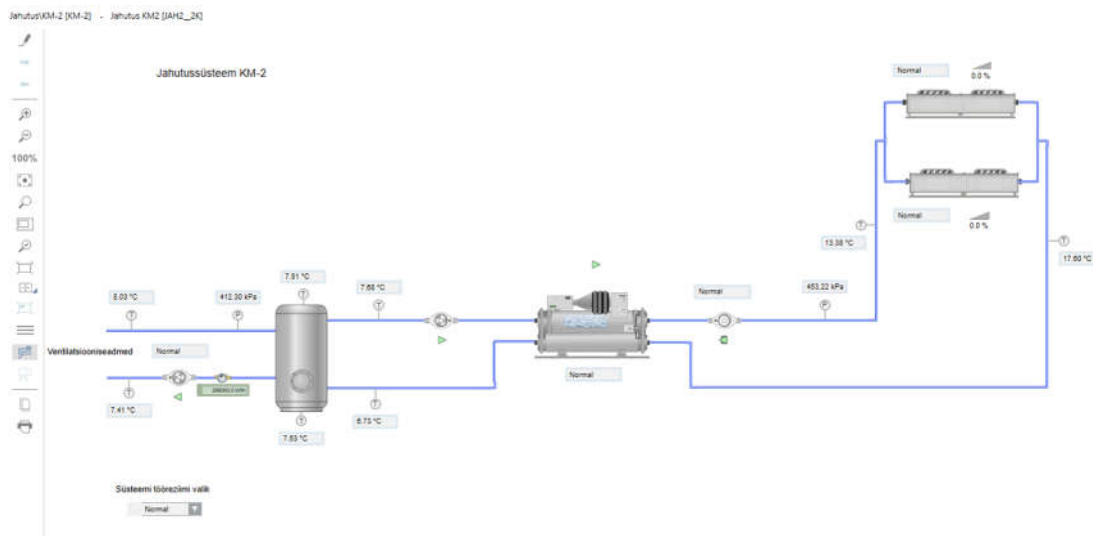
- 20.09.2019 seisuga sõlm üldse seisis, kuigi sellises hoones peaks ruumide jahutusveega varustamine toimuma aastaringselt. Jaam tegeleb justnimelt ruumide jahutusveega varustamisega.

- Vabajahutuse primaar ja sekundaarpoole pumpade kohta puudub eraldi info.
- Glükooliringluse temperatuuri juhtimise kohta puudub igasugune info.
- Ruumiringluse temperatuuri seadearvu kohta puudub info.
- Projekti järgi on jaamas kaks välisjahutit, mis mõlemad on varustatud glükooli peale- ja tagasivooluanduritega. BMS süsteemist leidsime ainult ühe välisjahuti kohta temperatuuri andurite infot.

## 6.2. Jahutussõlm 2:

- 20.09.2019 seisuga sõlm töötas, kuigi välistemperatuur oli ca 10 kraadi ja ventilatsiooniseadmed, mida jaam teenindab, sellise temperatuuri juures jahutust ei vaja.
- Glükooliringluse temperatuuri juhtimise kohta puudub igasugune info.

- Ventilatsiooniringluse temperatuuri seadearvu kohta puudub info.



Joonis 22 Jahutussüsteemi KM-2 skeem BMS's

• Külmmasina ja välisjahuti vahel puudub automaatselt sulguv ventiil. See loob olukorra, kus suure pakase korral võib külmmasin jäässe minna, kui glükooliringluses peaks tekkima vedeliku liikumine. See omakorda tähendab väga suuri väljaminekuid külmmasina remontimisele.

Meie üldine hinnang on, et jahutussõlmede automaatika vajab olulisi täiendusi või isegi nullist uuesti üles ehitamist. Seda sõltumata sellest, kas R8tech hakkab jaamaga üldse midagi tegema või ei. Hetkel ei suuda R8tech pakkuda usaldusväärset veatuvastust ja jahutusjaamade töö automaatne optimeerimine on hetkel täiesti välistatud.

## 7. VENTILATSIOON

### 7.1. Ventilatsiooniagregaatide seisukord:

• BMS's on läbivalt kõikide ventilatsioonimasinate puhul puudu seadesuurused (õhuhulga/rõhu/ventilaatori kiiruse ja temperatuuride jaoks). Koondtabelis on küll aktiivsed arvutuslikud temp. seadesuurused, kuid need ei ole muudetavad.

• Hetkel on enamus masinate temperatuuride juhtimine seadistatud tagastuva õhu temperatuuri järgi. R8tech juhtimisalgoritmide jaoks oleks vaja juhtimist sissepuhkeõhu

temperatuuri järgi. Masinaid on võimalik selliseks ümber seadistada, kui R8tech alustab juhtimist, siis võtame selle ka ette.

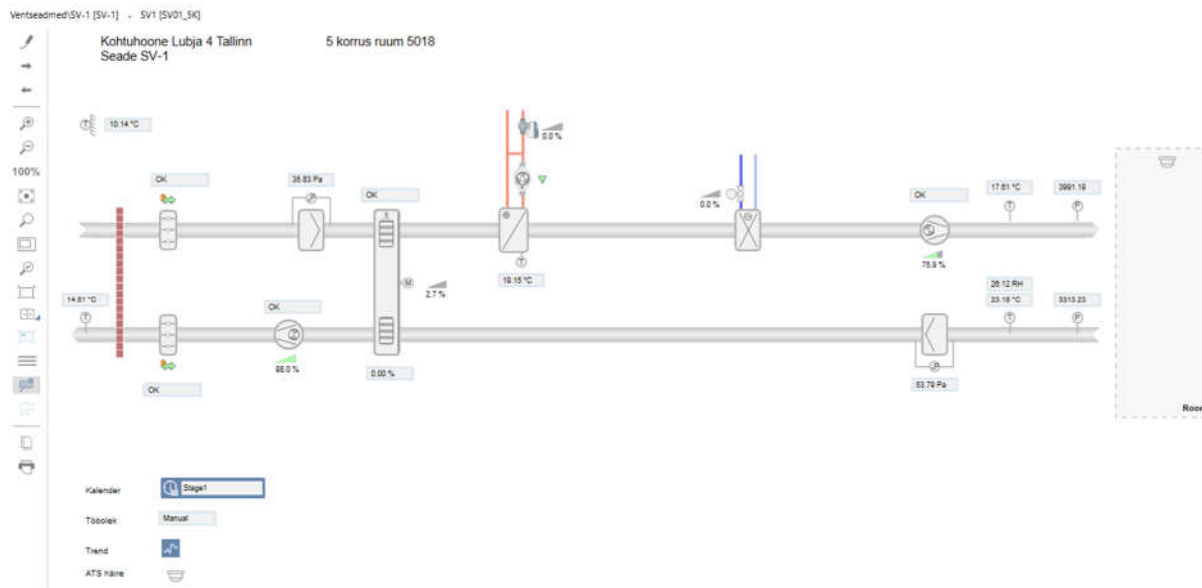
- Projektdokumentatsiooni järgi peaks kõikide ventilatsioonimasinate ventilaatorite juhtimine toimuma rõhuvaheandurite järgi. Reaalsuses on masinad 9, 14, 15, 16 konstantse kiiruse peal, 3, 6, 11, 12, 13 rõhuvahe pealt ja 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9 õhuhulga peal. Sealjuures õnnestus õhuhulga/rõhuvahe punkt leida ainult masinatele 3, 6, 7, 11, 12, 13. Masinaid, millel pole õhuhulga/rõhuvahe punkte, suudab R8tech juhtida ainult kiiruse järgi.

- Projektdokumentatsioonis paiknevad heitõhu andurid enne väljatõmbeventilaatorit, BMS pildi peal peale ventilaatorit. Täpse diagnostika jaoks oleks vaja teada täpset asukohta.

- Kütte- ja jahutusvee peale- ja tagasivooluandurite ühikud on valed. Süsteemis on Pa, õige ilmselt kPa.

- Ventilatsioonimasinad töötavad üldiselt 24/7 konstantsel kiirusel ehk ventilatsiooni õhuhulkasid ei juhita vajaduspõhiselt.

- Projektdokumentatsiooni järgi peab kõikidel masinatel olema õhuvõtukanalis õhu temperatuuri andur. BMS piltidelt neid ei leia.



Joonis 23. SV-1 ventilatsiooni masina vaade BMS süsteemis

SV9 masinas sissepuhkeõhu temperatuur kõigub väga tugevalt ([Joonis 24](#) ~~Joonis 24~~).



Joonis 24. SV9 sissepuhke õhu temperatuur

## 8. INTEGRATSIOON

Integreerimine toimus üldjoontes sujuvalt ning märkimisväärseid probleeme ei esinenud. Küll aga võttis oodatust rohkem aega hoone ühendusega loomine, mis läks kokkuvõttes 3 nädalat eeldatud paari päeva asemel. Täiendavalt on välja toodud pikemad kommentaarid ligipääsu ja Desigo tarkvara konfigureerimise kohta.

- Ligipääs: Meile pakutud VPN ligipääs, selle saamine ja seadistamine meie pool võttis omajagu aega. Küll aga pole praegune lahendus just kõige parem ning turvalisem, seega mõistlikum oleks see ümber teha ja kasutada mõnda muud lahendust, kasvõi meie poolt algselt pakutud varianti.
- Desigo tarkvara konfigureerimine: Meile teadaolevalt pidi Desigo tarkvaras NORIS API olema eelnevalt püsti pandud ning ära konfigureeritud, küll aga oli see jäänud tegemata. Seetõttu pidime lõpuks ise kohapeale minema ja selle iseseisvalt ära tegema, mis tõi omakorda täiendava ajalise kulu.

## 9. KOKKUVÕTE

Hoone varustatus automaatikaga on üldises plaanis piisav juhtimise optimeerimiseks. Küll aga tuleks edaspidi tegeleda antud raportis välja toodud probleemide parandamisega ning selles osas tuleks erilist tähelepanu pöörata just jahutusjaamadele, mille töö automaatne optimeerimine on hetkel täiesti välistatud.