



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

ÄRIKESKUSE ÜLEVIIMINE KAUGJAHUTUSELE NING JAHUTUSSÜSTEEMI ENERGIAANALÜÜS

BUSINESS CENTRE TRANSFER TO DISTRICT COOLING AND ENERGY ANALYSES OF COOLING SYSTEM

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Jaan Zadin

Üliõpilaskood 211428EAXM

Juhendaja: Martin Thalfeldt, professor

Tallinn 2023

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

“15” mai 2023

Autor: Jaan Zadin

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“15” mai 2023

Juhendaja: Martin Thalfeldt

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Jaan Zadin

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Ärikeskuse üleviimine kaugjahutusele ning jahutussüsteemi energiaanalüüs,

mille juhendaja on Martin Thalfeldt,

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

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

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

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

15.05.2023

/ allkirjastatud digitaalselt /

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Jaan Zadin, 211428EAXM

Õppekava, peeriala: EAXM15/18 - Hooned ja rajatised

Juhendaja(d): Martin Thalfeldt, Abiprofessor tenuuris, 6202505

Lõputöö teema:

Ärikeskuse üleviimine kaugjahutusele ning jahutussüsteemi energiaanalüüs.

Business centre transfer to district cooling and energy analyses of cooling system.

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Analüüsida ärikeskuse olemasoleva jahutussüsteemi potentsiaali üleminekuks kaugjahutusele.
2. Analüüsida kaugjahutusele ülemineku mõju ärikeskuse energia tarbele.
3. Koostada ärikeskuse soojus- ja külmavarustuse põhimõttelised skeemid ning kirjeldada vajalikud tegevused üleminekuks kaugjahutusele.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaade	05.03.2023
2.	Hoone olemasolevate jahutusüsteemide kaardistamine ja paigaldatud jahutusseadmete võimsuste kirjeldamine	22.03.2023
3	Hoone tarbimisandmete kogumine ja simulatsiooni mudeli koostamine ning kalibreerimine	04.04.2023
4	Hoone jahutusvõimsuste modelleerimine ja olemasolevale süsteemile kõrgeima sobiva temperatuurigraafiku määramine	27.04.2023
5	Kõrgema temperatuurigraafiku mõju analüüs hoone energiatarbimisele	04.05.2023
6	Hoone soojus- ja külmavarustuse põhimõtteliste skeemide analüüs ja koostamine	11.05.2023
7	Lõputöö vormistamine ja esitamine	14.05.2023

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "15" mai 2023. a

Üliõpilane: Jaan Zadin "15" mai 2023. a
/allkirjastatud digitaalselt/

Juhendaja: Martin Thalfeldt "15" mai 2023. a
/allkirjastatud digitaalselt/

Konsultant: ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

Lühendite ja tähiste loetelu.....	9
1. SISSEJUHATUS.....	10
2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	12
3. SISEKLIIMASÜSTEEMDE ÜLEVAADE.....	14
2.1 Küte	15
2.2 Ventilatsioon.....	15
2.3 Jahutus	15
2.3.1 Hoonepõhine jahutus	18
2.3.2 Kaugjahutus	18
2.4 Soojuspumpsüsteemid	20
3. OLEMASOLEVA SÜSTEEMI KAARDISTAMINE KAUGJAHUTUSELE ÜLEMINEKUKS.....	21
3.1 Hoone kirjeldus	24
3.2 Hoone sisekliimasüsteemide kirjeldus	26
3.2.1 Küte	26
3.2.2 Ventilatsioon.....	26
3.2.3 Jahutus	31
3.2.3 Jahutussüsteemide elektritarbimised	36
3.2.4 Juhtimine	42
3.2.5 Päikeseelektri jaam	44
3.3 Hoone simulatsioonid.....	45
3.3.1 Hoone mudel	45
3.3.2 Vabasoojusprofiilide kalibreerimine	51
3.3.3 Sise- ja väliskliima	52
4. TULEMUSED JA JÄRELDUSED	53
4.1 Kaugjahutussõlme võimsus temperatuurigraafiku tõstmise korral.	53
4.2 Kaugjahutussõlme võimsus temperatuurigraafiku tõstmise ning elektritarbimise analüüsil baseerudes.....	54
4.3 Kaugjahutussõlme võimsus simulatsioonil baseerudes	56

4.4 Tüüpruumide energiabilanss.....	60
4.5 Jahutussüsteemi energiatarve	63
4.6 Jahutussüsteemi põhimõtteline skeem.....	64
KOKKUVÕTE.....	65
ABSTRACT.....	66
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	67

EESSÕNA

Käesolev magistritöö idee sõnastati ettevõtte Pakrum OÜ juhataja Aivo Veismani poolt, eesmärgiga laiemalt vaadelda kaugjahutusele ülemineku temaatikat ning samas leida lahendus ühele konkreetsele hoonele.

Täpsem magistritöö eesmärgi sõnastus ning struktuuri ülesehitus toimus tänu Tallinna Tehnikaülikooli professori Martin Thalfeldti kaasabile.

Materjale ärikeskuse elektrienergia tarbimiste ja süsteemide kasutuseripärade ning kasutaja poolsete kogemuste osas saadi tänu ärikeskuse haldusjuhile Andres Kirtile ning Estiko esindaja Henno Kaevalile.

Täpsema ülevaate projektist ning kunagisest projekteerimise käigust ning antud hoone sisekliima süsteemidest süvitsi pakkus hoone ventilatsiooni ja jahutusprojekti koostanud insener Jaanus Somelar.

Käesoleva magistritöö tulemusel loodi raamistik mille abil hinnata olemasoleva ärihoone ülemineku potentsiaali kaugjahutusele. Käidi reaalse hoone näite varal läbi kõik raamistiku sammud ning vaadeldi iga sammu poolt avatavaid lisandväärtusi ning detailsuse taseme tõusu hoone kaugjahutusele üleviimisprotsessis.

Töö autor tänab kõiki, kes olid abiks töö koostamisel ja materjalide kogumisel.

Märksõnad: kaugjahutus, rekonstrueerimine, sisekliima, jahutussõlm, energia tarve, magistritöö.

Lühendite ja tähiste loetelu

WHO – maailma tervise organisatsioon (world health organisation)

Fancoil – ventilaator konvektor

TABS – termiliselt aktiivsed hoonesüsteemid (thermally activated building systems)

EJKÜ - Eesti jõujaamade ja kaugkütte ühing

IDA-ICE – simulatsioonitarkvara (IDA Indoor Climate and Energy 4.8)

SFP – ventilaatori erivõimsus (specific fan power)

EHR – Ehitusregister

MVP – Minimaalse funktsionaalsusega toode (minimum viable product)

ETS – kaugkütte, -jahutuse sõlm (energy transfer station)

1. SISSEJUHATUS

Keskkonnasäästu ja energiaefektiivsuse eesmärgid on aasta-aastalt järjest ambitsioonikamad ning peaks Euroopa liidus kulmineeruma aastal 2050 majanduste kliimaneutraalsusega.

Suure osa lõppenergiatarbimisest moodustab tarbimine kodumajapidamistes – 40% Transpordi ja tööstussektor kumbki 21% ning äri- ja avaliku teeninduse sektori lõpptarbimine on 15% kogu tarbimisest. Eesti viimase 15 aasta kogu energiatarve on olnud vahemikus 31-35TWh aastas. [1, lk 13]

Energiatarbimine hoonetes – kaugkütte tarbimine oli 8,1TWh ning elekter 7.3TWh [1, lk 14]

Hoonete energiatarbe kokkuhoius on suur potentsiaal. Seda nii kaugkütte kui ka elektritarbimise osas. Mitteeluhoonetes läheb elektrienergia tarbest arvestatav osa hoone jahutamisele, seda tehakse enamjaolt ühe kinnistu või hoone põhiselt kasutades lokaalseid jahutusseadmeid. Lokaalsete jahutusseadmete kasutamine ei pruugi alati olla kõige parem ning energiaefektiivsem lahendus, aga. Alternatiivina saaks kasutada tsentraalset kaugjahutust, kus suurema süsteemil kerkib esile võimalus kasutada ära jahutamisel tekkivat sooja kütteks, kasutada efektiivsemaid jahutusseadmeid ning ekspuataerida efektiivsemalt ümbritsevas keskkonnas olevad vabajahutus võimalusi. Kuid kahjuks pole kaugjahutust süsteemid Eestis veel väga levinud. Selleks, et kaugjahutus süsteem ennast ära tasuks peab olema jahutatavas piirkonnas teatav jahutusvajaduse tihedus. Näiteks kõrgema välistemperatuuriga maades peaks olema piirkonna jahutusvajaduse tihedus vähemalt 35000 kW/km². Mida kõrgem jahutusvajaduse tihedus on, seda majanduslikult tasuvamaks kujuneb jahutusvõrgu väljaehitus.[2, lk 15] See on ka üks olulisemaid põhjuseid, miks Eestis varasematel aastatel tsentraalseid süsteeme pole rajatud. Uuemate hoonete ning nende jahutusvajaduse kasvuga on tekkinud ka olukord, kus Eestis on hakatud kaugjahutus süsteeme rajama. Eesti ja Baltikumi esimene kaugjahutus süsteem rajati Tartusse, mis külma saamiseks ja vabajahutuseks Emajõe ning liigsoojus antakse ära küttevõrku. Lisaks on külmajaamal ka vähesele määral päiksepaneel elektri tootmiseks.[3]

Kuid lisaks jahutusvajaduse tihedusele on ka oluline aastana täiskoormustundide arv. Hoonete jahutussüsteemide projekteerimisel arvestatakse jahutusvõimsuse tipu dimensioneerimisel tihtipeale sisse suuri tagavarasid, mistõttu disainitingimustel tihtipeale tipukoormusteni ei jõutagi. Hoonepõhise jahutussüsteemi puhul on see täiesti aktsepteeritav kuid tsentraalse süsteemi puhul on olukord vastupidine. Kuna kaugjahutuse pakkuja arvestab võib olla süsteemi ehitusel arvestanud suuremate rahavoogudega ning seetõttu liigselt üle dimensioneeritud süsteem võib mõjutada olulisel määral investeringu tasuvust. Kuigi see võib esmapilgul tunduda kui teenuse

pakkuja probleem, siis tegelikkuses on see ka tarbija probleem kuna teenuse pakkuja pankroti korral jääb hoone jahutamata. Seetõttu on oluline hinnata jahutusvajaduse tippu täpselt. [2, lk 27]

Tarbijale pakub kaugjahutuse kasutamine lisaks hoone jahutamisele ka veel võimalust hoida kokku hoone tehnosüsteemide hoolduskuludelt ning tagab teatava varusutskindluse. Tihtipeale võib suuremate ärihoonete puhul kerkida üles probleem varusutskindluse tagamisel, kuna tehnosüsteemide hooldust ei teostata korrektselt või regulaarselt. On olukordi, kus hooldusi viiakse läbi ainult siis kui hoone tehnosüsteemi töös esineb häire. Tsentraalsete süsteemide puhul on see suures osas välditav, kuna keerukamad seadmed paiknevad teenuse pakkuja juures ning teenusepakkuja on antud tegevusele spetsialiseerunud ning külma tootmine ongi tema põhi tegevusala ja seega on teadlikus oluliselt kõrgem kui näiteks kaubanduskeskusel, bürool või raamatukogul. Kaugjahutus süsteemidel on palju eeliseid, kuid on ka suuri puudusi. Ühelt poolt linnakeskkonda jahutusvõrgu rajamine võib olla kallis ja keerukas teiselt poolt on tehnilised vastuolud ees ka tarbijate ning potentsiaalsete klientide poolt. Projekteeritavate hoonete puhul see rolli ei mängi, aga olemasolevate hoonete puhul küll. Põhiliseks tehniliseks vastuoluks Eesti kontekstis on temperatuurigraafikute erinevus olemasolevate hoonete lokaalsete jahutusseadmete ning tsentraalsete vahel. Hoonepõhised süsteemid on projekteeritud selliselt, et hoones on külmakandja temperatuurid 7/12°C, kaugjahutus süsteemi korral on aga hoones voolava külmakandja temperatuurid 8/18°C. Temperatuuride erinevusest tulenevalt langeb hoones kasutatavate jahutusseadmete jahutusvõimsus. Samuti langeb jahutuskandja vooluhulk kuna pealevoolu ja tagasivoolu temperatuuride vahe suureneb kaks korda, viielt kraadilt kümnele.

Käesoleva magistritöö eesmärk on vaadelda võimalusi olemasoleva hoone ümberviimiseks kaugjahutusele kasutades selleks erinevaid meetodeid baseerudes reaalselt eksisteerivale hoonele. Meetoditest vaadeldakse analüütilist lähenemist, tarbimise moodsustel baseeruvat lähenemist ning arvutisimulatsioonidel baseeruvat lähenemist.

2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Esimesi suuremaid kaugjahutus süsteeme rajati Hartfordi Connecticutis, 1962. aastal. Kaugjahutuse areng hoogustus oluliselt 1990-ndatel kui riigiti hakati suuremat tähelepanu pöörama osooni kihi hävingule ning seeläbi osoonikihti kahjustavata CFC gaaside kasutuse vähendamisele. [2, lk 6] [4]

Kaugjahutusel on palju paralleele ja sarnasusi kaugküttega. Kaugküte on jaotatud neljaks generatsiooniks. Tänapäeval on laialdaselt kasutuse kolmanda generatsiooni kaugküte. [5, lk 11]

Sarnaselt kaugküttele on ka kaugjahutus jaotatud generatsioonideks ning sarnaselt kaugküttele on ka kaugjahutuse generatsioonid defineeritud tehnoloogiliste edasiminekutega külmatootmises ning jaotuses ja külmaajaamade opereerimisfilosoofiates.

See kõik kajastub, sarnaselt kaugküttele, jaotusvõrgus voolava vedeliku temperatuurides aga samuti ka peamistes tehnoloogilistes valikutes ja arengutes.

Alljärgnevalt on toodud 1., 2. ja 3. generatsiooni süsteemide jaotus mis on viidatult toodud artiklis „The four generations of district cooling - A categorization of the development in district cooling from origin to future prospect“, artikli autori klassifitseering põhineb Hendrik Lundi kaugküte klassifitseeringutel ning on eestikeelse tõlkena toodud järgnevalt:

1. Esimene generatsioon on torusüsteemil baseeruv jahutussüsteem, mis võeti kasutusele 19. sajandi lõpus ning koosnes kesksest kondensaatorist ning lokaalsetest aurustitest ning külmaine oli ka samaaegselt jaotusvedelik/külmakandaja.
2. Teine generatsioon võeti kasutusele 1960ndatel ning baseerus suuretel kompressor külmaseadmetele, jaotusvedelikusk/külmakandjaks oli jahutatud vesi.
3. Kolmanda generatsiooni tehnoloogia külmatootmine on mitmekesisem ning baseerub lisaks kompressorkülmaseadmetele ka absorptsioon külmaseadmetele ning võib olla varustatud soojatagastusega. Lisaks leiab kasutust ka vabajahutus veekogudest ning rakendatakse ka külmasalvestust. Jaotusvedelikuks/külmakandjaks on jahutatud vesi. [6, lk 2]
4. Neljas generatsioon koosneb süsteemidest mis töötavad sünergias koos teiste energiasektorite nagu näiteks elektrienergia ja soojuse tootmine. Kasutades ära tsentraliseeritud ja/või detsentraliseeritud tehnoloogiaid, milleks võivad olla elektrilised soojuspumbad, absorptsioon soojuspumbad, vabajahutus allikad, külmasalvesteid katmaks elamu-, äri- ning tööstuspindade jahutusvajadusi. [6, lk 8]

Erinevalt esimesest kolmest generatsioonist on neljanda generatsiooni juures oluline tasakaalustada energia tootmine ja energia kokkuhoid. See suunab kaugkütte võrkudes kasutama järjest madalamaid temperatuure. Sama põhimõtte kehtib ka kaugjahutus võrkudele, kus aga on suund kõrgematele temperatuuridele.

[7, lk 2]

Sellest suunast kasvab välja aga kaugjahutuse viies generatsioon, mis on tegelikult ka samaaegselt kaugkütte viies generatsioon. Mille läbivaks ideeks on, et torustikus voolab energiakandja, temperatuuriga vahemikus 10-25°C, mida on võimalik kasutada nii kütmiseks kui ka jahutamiseks. Soojuspumba abil, mis on ühendatud energiakandja võrguga, toodetakse vajadusel sooja või külma andes jääk soojuse/külma võrku tagasi.

[7, lk 4]

Võrku on ühendatud ka muud taastuenergia lahendused nagu näiteks päikesekollektorid, energiakaevud. Ideaalne oleks süsteemi seisukohast kui energiakandja võrku ühendatud tarbijate vajadused jaguneks võrdselt – oleks sama palju kütte vajadust kui palju on jahutusvajadust. Selliselt moodustaks hulk detsentraliseeritud seadmeid ühe tsentraalse võrgu mis toodab kõrge efektiivsusega nii külma kui sooja.

Kaugjahutuse temaatika tõuseb järjest rohkem päevakorda, eriti kui arvestada, Euroopa Liidu seatud eesmärki – saavutada kliimanetraalsus aastaks 2050.

Üks lahendamist vajavatest probleemidest, mis langeb võrgu tasemelt tarbijale on jahutuskandja temperatuuridega muutmisega üles kerkivad probleemid ning külmakandja suurema temperatuuri vahega seotud küsimused. Mis omakorda pakub ka häid võimalusi energia kokku hoiuks nii pumpamis energia kui ka külma tootmiseks vajaliku energia arvelt. [8]

Võimaldades kõrgemaid pealevoolu temperatuure ning seeläbi sillutades teed viienda generatsiooni lahendustele.

3. SISEKLIIMASÜSTEEMDE ÜLEVAADE

Hoonete juures mängib väga tähtsat rolli sisekliima, see määrab ära kuidas ja kas on hoone inimeste poolt kasutatav. Tihtipeale on sisekliimast rääkides teatav mõisteteline segadus, sisekliimat kiputakse võrdsustatama ventilatsiooniga kuid tegelikkuses on see tunduvalt laime mõiste. Vabariigi valitsuse hoonete sisekliimale esitatavate nõuete määruse eelnõus on sisekliima defineeritud kui füüsikaliste, keemiliste ja bioloogiliste tegurite kogum, mis mõjutab soojuslikku mugavust, siseõhu kvaliteeti ja akustikat ruumis. [9] Sarnaselt on see defineeritud ka WHO ning paljude teiste riikide dokumentatsioonis.

Soojusliku mugavuse, siseõhu kvaliteedi ja ruumi akustika mõjutamiseks kasutatakse tehnoloogilisi lahendusi, milleks on peaaesjalikult kütte-, ventilatsiooni-, jahutus-, niisutus-, kuivatus- ja filtreerimis süsteemidega. Akustika lahendustest kasutatakse lisaks erinevatele materjale heli summutamiseks ka aktiivseid mürasummutuslahendusi. Müra on kõigi sisekliimat mõjutatavate lahendustega suuremal või vähemal määral kaasuv nähtus ning sellele tuleb arvestada kõikides sisekliimasüsteemide rajamisega kaasnevates etappides, alates planeeringust kuni ekspluatatsioonini ja isegi demonteerimiseni välja.

Käesolevas magistritöös keskendutakse peamiselt jahutus- ja ventilatsioonisüsteemidele, aga vähesel määral käiakse üle ka küttesüsteemidest. Alljärgnevates punktides on antud lühike ülevaade magistritöös käsitletud sisekliimat mõjutatavate süsteemide teoreetilistest alustest.

2.1 Küte

Meie kliimas on hoonetes soojusliku mugavuse tagamiseks on väga olulisel kohal küttesüsteemi olemasolu. Küttesüsteemi ülesanne on määratletud T-A. Kõivu ja A. Randi raamatus Hoonete küte kui soojuse vähimate kadudega edastamine ja jaotamine tarbijate vahel selliselt, et hoone kõikides ruumides oleks tagatud vajalik minimaalne siseõhu temperatuur kasutades ära maksimaalset seal tekkivat vabasoojust.

T-A. Kõiv ning A. Rant toovad välja, ka et väga laiapõhjalise küttesüsteemide liigituse mida tehakse väga paljude kriteeriumite alusel – tootmise iseloomu, süsteemi toimimispõhimõtete, ehituslike iseärasuste järgi, küttekehade tüübi ja paljude muude parameetrite alusel [2 lk 90]

Küttesüsteemid on meie kliimas asuvate kõikide hoonete üks olulisemaid komponente, antud süsteemid pole ettenähtud ainult ruumide kütteks vaid on lisatud ka teistele hoone sisekliima süsteemidele, et tagada inimestele ruumis viibimiseks soojuslikult mugav keskkond.

2.2 Ventilatsioon

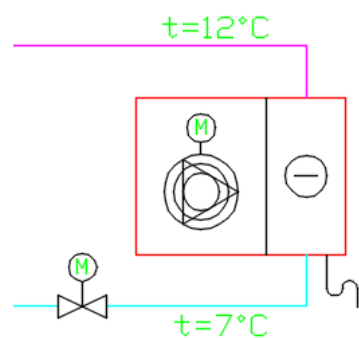
Ventilatsioon sisekliimamõistes tähendab ruumi varustamist puhta õhuga ja ruumist saasteainetega rikastatud õhu eemaldamist. Ventilatsiooni abil võib eemaldada ka ruumist soojust, eeldusel, et sisse puhutav õhk on jahedam kui väljatõmmatav või kütteks kui sisse puhutav õhk on soojem. Vaatamata sellele, et sooja eemaldamine või soojaga varustamine võib vajada suuremat õhuhulka kui saasteainete eemaldamine on viimane alati ruumiventilatsiooni põhieesmärk. Lisaks eelpool toodule võib ventilatsiooniga mõjutada ka ruumiõhu niiskustaset – eemaldades sealt niiskust või tuues seda lisaks. [11, lk 175]

2.3 Jahutus

Sarnaselt küttesüsteemile on jahutussüsteemi eesmärk tagada ruumis ettenähtud ruumitemperatuuri, kui küttesüsteem tagas, et temperatuur ei langeks alla etteantud väärtuse siis jahutussüsteem tagab, et ruumitemperatuur ei tõuseks üle etteantud väärtuse. Selleks on läbi ajaloo kasutatud erinevaid lahendusi - on ehitatud massiivseid hooneid, varjestusi, rajatud avatud basseine ning purskkaevusid, kasutatud jahutuseks jääd. Tänapäeval toimub ruumide jahutus peamiselt kompressor-jahutusseadmete abil, kus tehiskülma saamiseks kasutatakse rõhu all olevate gaaside omadust järsul adiabaatsel paisumisel jahtuda. [4 lk 19] Selleks kasutatakse külmutusagnesit, ehk termodünaamilist töökeha, mis viiakse läbi järjestiku mitmest olekust kuni see jõuab tagasi oma algolekusse. Külmutusseadmes nimetatakse toimuvat pöördringprotsessiks, kus võetakse töökeha vahendusel madalama temperatuuriga objektilt soojust ja

kantakse see üle kõrgema temperatuuriga objektile, kulutades selleks mehaanilist energiat. [12, lk 57]

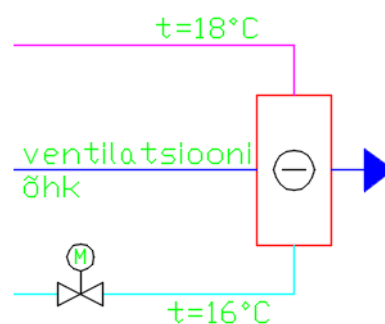
Ruumisiseseks jahutuseks kasutatakse väga palju erinevaid lahendusi. Üheks levinumaks on ventilaator-konvektorid ehk nn. fancoilid. Seade koosneb sisuliselt ventilaatorist ning jahutuskalorifeerist. Jahutuskalorifeerist juhitakse läbi jahutatud vesi ning ventilaator tõmbab läbi jahutuskalorifeeri ruumi õhku ja puhub selle ruumi tagasi. Läbi kalorifeeri liikudes toimub soojusülekanne ruumiõhult jahutatud veele. Sõltuvalt veetemperatuurist ja ruumiõhu niiskussisaldusest võib toimuda, ja reeglina toimubki, „fancoili“ kalorifeeril kondenseerumine.



Joonis 1 Fancoili skeem

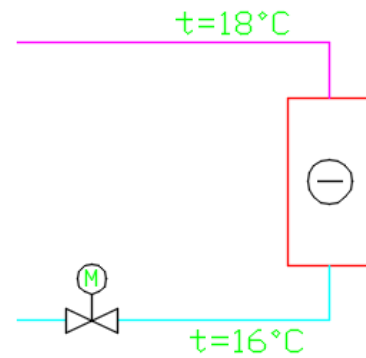
Lisaks kasutatakse ka jahutustalaseid, mis jaotuvad omakorda veel kaheks – aktiivseteks ning passiivseteks. Jahutustalaseid koosnevad samuti kalorifeerist, milles voolab jahutatud vesi ning mis jahutab ruumi õhku.

Jahtustalades puudub ventilaator. Aktiivpalkides juhitakse läbi palgi ventilatsiooni õhk, kuna jahutustalad on reeglina kondensaadi vabad süsteemid, siis peab ruumi õhk olema kuivatatud. Reeglina tehakse kuivatust läbi ventilatsiooni. Aktiivpalkide puhul on levinud lahendus, et ventilatsiooni õhk jahutatakse madalamaks kui on palgi kalorifeeri pealevoolu temperatuur, vältides sedasi kondenseerumist. Aktiivpalkide puhul on väga olulisel kohal lisaks ventilatsiooniõhu kuivatusele ka õhu kogus, see peab olema seadistatud õigesti, kuna läbi palgi puhudes tekitatakse ventilatsiooni õhuga palgi sisse alarõhk, mis tõmbab ruumiõhku läbi palgi jahutuskalorifeeri suurendades sedasi palgi konvektiivset jahutusvõimsust.



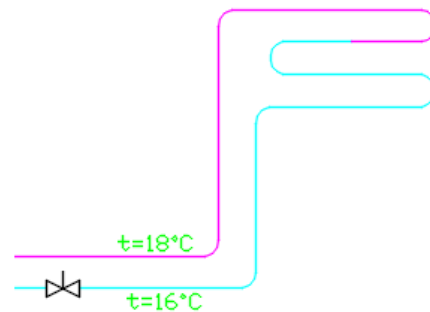
Joonis 2 Aktiivpalgi skeem

Passiivpalk töötab sarnaselt nagu küttesüsteemis töötab radiaator. Passiivjahutustalal puudub ventilaator ning sellest ei juhita läbi ka ventilatsiooni õhku. Ruumi õhk liigub läbi passiivjahutustala loomuliku konvektsiooni teel. Lisaks konvektiivsele ülekandele on ka suur osa kiirguslikul komponendil, kuna passiivjahutustala on oma gabariitidelt reeglina üsna suur. Sarnaselt aktiivpalgile töötab ka passiivpalk kondensaadi vabalt, mis tähendab, et ruumi õhku tuleb kuivatada. Tänu ventilaatori puudumisele ei tekita jahutustala müra.



Joonis 3 Passiivpalgi skeem

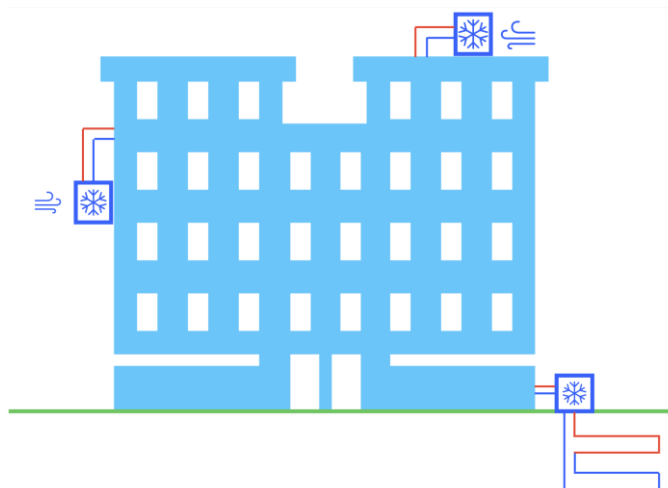
Lisaks on kasutuses ka veel nn. „TABS“ ning erinevad konstruktsioonisisised jahutused. Tööpõhimõte on sarnane põrandaküttele, jahutussüsteemis jahutatakse konstruktsiooni ning sellega ruumi. Antud süsteemid peavad samuti olema kondensaadi vabad.



Joonis 4 Pinna sisese jahtuse skeem

2.3.1 Hoonepõhine jahutus

Hoonepõhise jahutuse all peetakse peamiselt silmas jahutuslahendust, kus külma toodetakse hoones, kinnistul või hoone lähiümbruses paikneva külmajaama/jahutusseadmega. Enamjaolt kasutatakse selliste lahenduste puhul hoonesisestes veepõhistes süsteemides temperatuuri režiimi 7 °C / 12 °C. Palju on kasutuses ka külmaine ehk freooni põhiseid süsteem, kus soojakandjaks pole vesi vaid külmaine ning aurusti paikneb teenindatavas alas.



Joonis 5 hoonepõhise jahutuse skeem

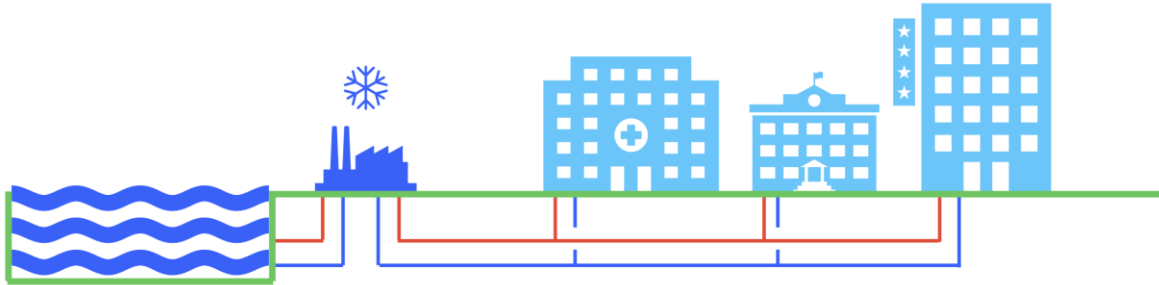
2.3.2 Kaugjahutus

Kaugjahutuseks loetakse jahutussüsteemi, kus külma tootmine ja jaotamine toimub sarnaselt kaugküttele keskses külmajaamas, kust see jaotatakse läbi kaugjahutus võrgu tarbijateni kasutades selleks soojuskandjat. Kaugjahutuse tarbijatele puudub vajadus eraldiseisva jahutusagregaadi järgi kuna jahutusenergia tuuakse hoonesse läbi jahutussõlmes paiknevate soojusvahetite. Kaugjahutus on skemaatiliselt esitatud joonisel 6.

Kaugjahutus on reeglina kulutõhus lahendus suuremates linnades, kus jahutusvajadusega hooneid on palju ning nad paiknevad lähestikku. Lisaks muudab kaugjahutuse kulutõhusamaks asjaolu, et kaugjahutuses saab kasutada kohalikest looduslikest külmallikatest, näiteks jõed, järved, meri, saadavat vabajahutust.

Kaugjahutusvõrgus, sarnasel kaugküttevõrguga, on üks toru pealevoolu ja teine tagasivoolu jaoks, erinevus on soojakandja temperatuuris. Kaugjahutusvõrgu pealevoolu temperatuur on reeglina vahemikus 4–7 °C ja tagasivoolutemperatuur on 12–17 °C. [13]

Eestis kasutatakse peaveoolu temperatuuri 6°C ja tagasivoolu temperatuuri 16°C. Hoonesse jõuab pärast soojusvahetit 8°C ning soojusvahetisse peaks hoonest tulema 18°C



Joonis 6 Kaugjahutuse skeem

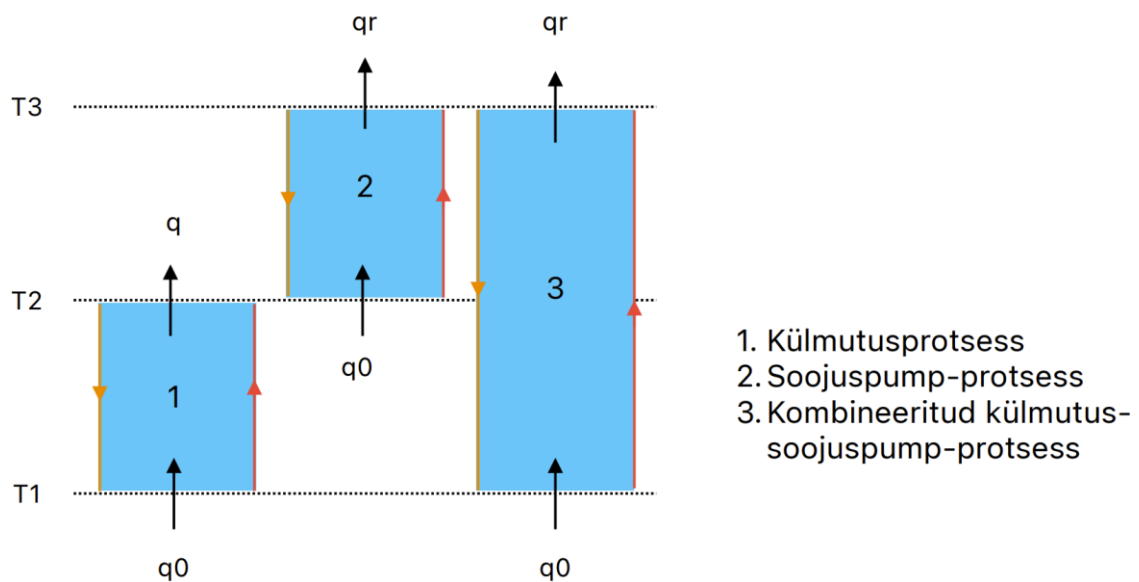
Eesti jõujaamade ja kaugkütte ühing, EJKÜ on kaugjahutuse tootjatele välja töötanud märgise „Tõhus kaugküte“. Antud märgis antakse tunnustuseks tõhusale ja taastuvenerial või koostoodetud soojusel põhinevatele kaugjahutus süsteemidele. Tõhus kaugjahutus on defineeritud Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiivis 2012/27/EL. Vastavalt definitsioonile on tõhus selline kaugkütte- või kaugjahutus süsteem, mis kasutab vähemalt 50% taastuvenergiat, 50% heitsoojust, 75% koostoodetud soojust või 50% sellise energia ja soojuse kombinatsiooni. [14, lk 209] Tõhusa kaugjahutuse märgis on esitatu joonisel 7.



Joonis 7 Tõhusa kaugjahutuse märk [15]

2.4 Soojuspumpsüsteemid

Soojuspumpsüsteemid on oma olemuselt sarnased kompressor jahutusseadmetele. Mõlemas toimub agensi vahendusel soojuse ülekandmine madalama temperatuuriga keskkonnalt kõrgema temperatuuriga keskkonnale, erinevus on väliskeskkonna temperatuuris. Jahutusprotsessis on väliskeskkonna temperatuur (joonisel 8. T2) kõrgem kui soojusallika temperatuur (joonisel 8. T1) ning soojuspumpsüsteemis on välistemperatuur (joonisel 8. T2) madalam kui soojusallika temperatuur (joonisel 8. T1), ehk teisisõnu jahutusprotsessis viiakse sooja välja soojuspump-protsessis tuuakse sooja sisse. Efektiivsuse tõstmiseks on võimalik neid protsesse ka siduda, saades sedasi kombineeritud külmutus-soojuspump-protsessi, kus on ühendatud nii külmutus- kui ka soojuspumba funktsionaalsus. [12, lk 55]



Joonis 8 Soojuse transformeerimismeetodid [12, lk 55]

3. OLEMASOLEVA SÜSTEEMI KAARDISTAMINE KAUGJAHUTUSELE ÜLEMINEKUKS

Olemasoleva jahutussüsteemi rekonstrueerimisel ümber kaugjahutusele viidi läbi järgmised sammud:

- Kaardistati hoone ja seal paiknevad tehnosüsteemid
 - Kondenseeruvad süsteemid
 - Kondensaadivabad süsteemid
 - Kuivatusega süsteemid
- Tehti kindlaks paigaldatud jahutus- ja ventilatsiooniseadmed ning nende tootjad.
- Kontrolliti üle vastavus projektdokumentatsioonile
- Viidi läbi seadmete arvutused erinevatel temperatuurigraafikutel
- Analüüsiti hoone elektrienergia ja jahutusseadmete elektrienergia tarvet
- Koostati simulatsiooni mudel
 - Kalibreeriti vabasoojuste profiil
 - Dimensioneeriti jahutussüsteemi võimsused
 - Simuleeriti sisetemperatuure erinevatel temperatuurigraafikutel ning jahutusvõimsustel
 - Simuleeriti hoone energiatarvet erinevatel külmakandja temperatuuridel
- Koostati jahutussüsteemi põhimõttelised toimimisskeemid
- Määrati arvutuslikud soojusvahetite võimsused
- Määrati jahutussõlme arvutuslik võimsus

Hoone kaardistamiseks tutvuti esmalt hoone projektdokumentatsiooniga seejärel registriandmetega ning käidi ka füüsiliselt kohapeal kinnitamaks projektdokumentatsiooni ning registri andmeid. Kaardistati ära erinevad süsteemi tüübid – kondenseeruvad süsteemid, kondensaadivabad ning kuivatusega süsteemid. Kui süsteemid olid kaardistatud vaadeldi neid süvitsi ning analüüsi läbi erinevad lahenduste variandid, mis tagaks süsteemide eesmärkide täitmise ning sobitaks nende eripäradega.

Kondensaadivabad jahutussüsteemid töötavad juba algselt kõrgemal temperatuurrežiimil ning on varustatud segusõlmega, mis valmistab seadmetele ette sobiva temperatuuriga külmakandjat. Antud süsteemi puhul muudatusi sisse viia polnud vaja, kuna temperatuurirežiim ei muutunud. Kriitiliseks punktiks antud süsteemi juures osutus seda teenindav ventilatsioonisüsteem, mis oli varustatud õhu kuivatusfunktsionaalsusega, et vältida kondensaadivabades jahutustalades kondenseerumist. Ventilatsioonisüsteemide kuivatus oli lahendatud selliselt, et seadme jahutuskalorifeerist väljuv õhk oli jahutatud madalamale temperatuurile kui oli kondensaadivaba jahutustala külmakandja pealevoolu temperatuur. Kontrollimaks mis tingimustel on võimalik säilitada kuivatusfunktsionaalsus hangiti ventilatsiooniseadmete maaletooja kaudu ligipääs arvutustarkvaras realselt paigaldatud ventilatsiooniagregaatidele, mis andis võimaluse teostada arvutusi konkreetsetele toodetele. Teostati arvutused, et selgitada välja seadmete teoreetilised arvutuslikud sissepuhke temperatuurid uue temperatuurigraafikuga ning arvutati läbi erinevad temperatuurirežiimid, et leida kinnitust soovitud kuivatusfunktsionaalsuse säilimisest.

Lisaks kuivatusega seadmetele arvutati üle ka kõik teised ventilatsioonisüsteemid ning arvutuste abil määrati jahutusvõimsused ja uute külmakandja temperatuuridega saavutatavad sissepuhke temperatuurid, mille põhjal anti empiiriline hinnang sissepuhke temperatuuri tõusu mõjust sisekliimale. Arvutused teostati lisaks ka erinevate pealevoolu ning tagasivoolutemperatuuride vahedega, et vaadelda võimalust säilitada ventilatsiooniseadmete jahutuskalorifeeride ventiilid.

Kui ventilatsiooni seadmete jahutuskalorifeeride arvutused olid läbi viidud arvutati üle ka ruumisisesed ventilaatorkonvektorid, ehk fancoilid. Arvutused teostati kasutades nii arvutusvalemeid kui ka erinevate fancoili tootjate konkreetsete toodete jaoks loodud arvutustarkvarasid. Erinevus arvutusvalemite järgi arvutatuga ning programmiga arvutatu vahel oli sõltuvalt tootjast üsna märgatav. Kuna seadme konstruktsioon ning ülesehituses mõjutab väga oluliselt seadmest väljuva õhu temperatuuri ning selle arvesse võtmine käsitsi arvutuse puhul on võimatu kui pole teada täpset toote ülesehitust. Seega tuleks antud arvutuste puhul eelistada tootja tarkvara.

Kui jahutuselamendid olid ümber arvutatud, kasutades erinevaid meetodeid, summeeriti hoone jahutusvõimsused uutel temperatuuridel, arvestati ka kondenseerumisega ja esialgse projekti üheaegsusega

Seejärel koguti hoone tarbimisandmeid, mis hõlmasid elektrimõõdikute ning soojusenergia tarbimiste ajalugusid ja kasutaja poolset tagasisidet hoone sisekliimale ja tehnosüsteemidele. Tehnosüsteemide osas täpsustati üle töökindlus ning tõsisemate rikete kestvused. Sisekliima osas sooviti saada kasutaja poolset tagasisidet rahulolu osas suviste ruumitemperatuuridega. Võttes arvesse tagasiside sisekliima ja tehnosüsteemide osas võrreldi jahutusseadmete elektritarbimiste tippe väliskliima parameetritega ning täpsustati varasemat empiirilist hinnangut kõrvutades elektritarbimistest tuletatud jahutusvõimsusi uutele külmakandja temperatuuridele arvutatud jahutusvõimsustega.

Hinnangu täpsustamiseks koostati tarbimisandmete põhjal hoone elektrienergia kasutusprofiilid, et hinnata ruumisestele elektriseadmete valgustuse vabasoojuse võimsuste muutust algses projektis arvestatuga.

Seejärel loodi hoonest simulatsioonimudel, kus kasutati varasemalt koostatud elektrienergia kasutusprofiile. Simulatsioonimudeli seadmete ning valgustuse elektrienergia tarbimine kalibreeriti realselt mõõdistatud andmetega.

Simulatsioonimudelis dimensioneeriti uus jahutusüsteem võimsustega, mis suudab tagada soovitud sisekliima parameetrid. Seejärel modelleeriti mudelisse olemasolevad jahutussüsteemid kontrolliti sisekliimaparameetreid olemasolevatel võimsustel ning viimaks kohandati olemasolev süsteemi kõrgemale temperatuurigraafikule ning kontrolliti sisekliimaparameetreid uutel jahutusvõimsustel ning temperatuuridel.

Simuleeriti läbi hoone energiatarve kõrgemal külmakandja temperatuurigraafikul.

Kui temperatuurigraafiku tõstmise mõju sisekliimale oli kindlaks tehtud koostati jahutussüsteemi põhimõttelised skeemid. Skemaatilisel lahendati kuivatusfunktsionaalsusega ventilatsiooniseadmete ühendamise, selliselt, et kuivatusfunktsionaalsus säiliks. Külmasõlmega liideti olemasolevad vesijahutid kasutamaks neid vabajahutuses ning lisaks vaadeldi skemaatilisel soojuspumpsüsteemi lisamise võimalust.

3.1 Hoone kirjeldus

EHR andmete järgi on hoonel 6 maapealset korrust ning 1 maa-alune korrus, millele on määratud 14 kasutusotstarvet. Hoone netopind on 31999.4m², sellest köetav pind on 30850,1m². Kasutusotstarvete jaotus on toodu tabelis 2.

Tabel 1 Hoone kasutusotstarvete loetelu [16]

Kood	Nimetus	Pindala
		m ²
12332	Sõidukite teeninduse hoone	87
12617	Kasiino	252.1
12611	Teater, kino, kontserdi- ja universaalsaalide hoone	2754.6
12201	Büroohoone	3397.5
12319	Muu kaubandushoone	5587
12432	Parkimismaja	4191.8
12132	Kohvik, baar või söökla	1108.3
12131	Restoran	161.7
12644	Ambulatoorse arstiabi osutamise hoone	1447
12619	Muu meelelahutushoone	357.4
12311	Kaubandushoone	1727.3
12331	Ilu- ja isikuteenuste hoone	86.2
12415	Bussijaama hoone	420.5
12659	Muu spordihoone	1568.1
	Kokku	23146.5
	Köetav pind	30850.1
	Neto pind	31999.4

EHRis toodud hoone kasutusotsatavete pindala ning köetav pind ei lähe kokku. Registris on toodud kasutusotsatavete summana pind 23146,5 m², köetava pinnana on märgitud aga 30850,1m².

EHR andmebaasis olev kasutusotstarvete pindalade info on esitatud koos Tartu bussijaama osaga, mis jääb käesolevast magistratöö vaadeldavast mahust välja.

Kui Tartu bussijaama pind EHR-is toodud kasutusotstarvete andmetest maha arvutada oleks magistratöös vaadeldav osa kliimatagamisega ruumides pindala 18447.2 m². Mudeli ja jooniste põhjal vaadeldult ei saa aga antud pindala õige olla, puudu on ligikaudu 4500 m².

Käesolevas töös hoone mudeli ja projekti jooniste põhjal arvatud pindala, millest on välja jäetud ruumid ja alad, mida ei jahutata - maa-alune parkla, parkimismaja ja suuremad tehnoruumid. Selle põhjal arvestatuna on saadud hinnanguliseks pindalaks 22981.2 m². Antud pindala käsitletakse edaspidi kui sisekliima tagamisega pinda ning kõik tervet hoonet puudutavad ruutmeetri kohta esitatavad andmed on arvatud baseerudes sellele pindalale - 22981.2 m².

Asendilaselt paikneb Keskus Tartus kesklinnas, Emajõe vahetus läheduses ning külgneb ühelt poolt Emajõe ärikeskusega, mida tuntakse ka selle kujust tuletatud „Pläsku“ nime all ning teiselt poolt hotelliga Dorpat. Allpool oleval joonisel 9 on toodud Tasku keskuse paiknemise skeem. Joonise ülemine äär on põhja suund ning alumine lõuna, seega hoone alumine nurk on tipuga lõuna suunas.



Joonis 9 Tasku keskuse paiknemise skeem [16]

Et hinnata paremini külgnevate hoonete päiksekiirguse varjestust on allpool oleval joonisel 10 toodud Tasku keskuse paiknemise kõrguslik skeem ning joonisel 11 foto paiknemisest.



Joonis 10 Tasku keskuse ümbruskonna kõrguslik skeem [16]



Joonis 11 Foto Tasku keskusest [17]

3.2 Hoone sisekliimasüsteemide kirjeldus

Tasku keskus on varustatud kütte, ventilatsiooni ja jahutussüsteemidega. Ventilatsioonisüsteemidel, mis teenindavad kondensaadivaba jahutusega ruume on lisaks ka kuivatamise funktsionaalsus. [18]

Hoones on ka täppiskliimaga ruume, kus kasutakse sisekliima tagamiseks täppiskonditsioneeride kuid antud ruume käesolevas magistritöös ei vaadelda.

3.2.1 Küte

Hoone on varustatud tsentraalse kütte süsteemiga. Mille abil köetakse ventilatsioonisüsteemide kalorifeere, hoone ruume ning valmistatakse sooja tarbevett. Lisaks on kasutuses küttesüsteemi ka õhkkardinate õhu soojendamiseks. Hoone küttemperatuurid ning võimsus jaotus on projektis ettenähtud järgnevalt ning esitatud tabelis 3.

Tabel 2 Küttesüsteemi jaotus [18]

KÜTE	Temperatuur	Võimsus	
	°C	kW	W/m ²
Ruumid	70/50	750	32,6
Tarbevesi	65/25; 5/60	700	30,5
Ventilatsioon	70/40	2500	108,5
Õhkkardinad vesi-glükool 30%	70/40	150	6,5

3.2.2 Ventilatsioon

Hoone ventilatsioon tagamiseks on paigaldatud 22 ventilatsioonisüsteemi, mida teenindavad ventilatsiooniagregaadid, mis on varustatud soojatagastuse, kütte ning jahutusega. Paigaldatud on ettevõtte FläktGroup seadmed. Seadmetes kasutatakse rootorsoojustagastiga ning vahesoojuskandjal põhinevate soojustagastusega seadmeid. Hoone ventilatsiooni õhuhulk on 63m³/s, millest rootorsoojustagastitega seadmete osakaal on 36m³/s ning vahesoojuskandjatega seadmete osakaal 27m³/s.

Nelja süsteemi kasutatakse ka sissepuhke õhu kuivatamiseks, kuna agregaadid teenindavad ruume, mida jahutatakse aktiivjahutustaladega. Kuivatusega seadmete õhuhulk on kokku 10,4m³/s. Kaks süsteemi on rootorsoojustagastusega ning kaks süsteemi on vahesoojuskandjaga soojustagastiga. Agregaatides jahutatakse õhk 13,5-14°C, ventilaatorites tõuseb sissepuhke temperatuur 1-1.5°C võrra ning aktiivpalkidesse puhutakse 15°C õhk. Jahutustalade temperatuuri režiim on ettenähtud 14/16°C, seega kondenseerumist ei tohiks toimuda ning kuna tegemist on

aktiivpalkidega, siis 15°C sissepuhke õhu temperatuur on sobilik ja tõmbuse oht on madal.

Lisaks soojustagastusega süsteemidele on hoones 78 soojatagastuseta süsteemi, millest 20 on ettenähtud suitsueemalduseks ning 1 suitsueemaldussüsteem on riskkasutuses tavaventilatsioonina.

Soojatagastuseta süsteemide õhuhulk on 34 m³/s(hõlmab suletud parklat ning kööke ja jaotlate soojaemaldust) Parkla sissepuhke õhku ei köeta, kuid talvisel ajal on see siiski piisavalt soe, kuna sissepuhkeks kasutatakse keskuse vahesoojuskandjatega süsteemide väljatõmbe õhku. [18]

Tabelis 4 on toodud jahutusega ventilatsiooni süsteemide jaotus, õhuhulgad, teenindatavad alad ning võimalikud sissepuhke temperatuurid. Tabelis on näidatud ära jahutustagastuse mõju sissepuhke temperatuurile, külmakandja temperatuuri muutuse mõju ning sissepuhke ventilaatori mõju.

Tabel 3 Jahutusega ventilatsioonisüsteemid

Tähis	Teen. ruumid	Ventilaator		Jahutustagastus		Jahutuskalorifeer		Sissepuhke temperatuur			
		õhuhulk	temp	temp.	mõju	7/12 °C	8/18 °C	Projekt	Jah.tagastuseta	Jah.tag	
			tõus	suhtarv	SP	Õhk	Õhk		7/12	8/18	8/18
		m ³ /s	°C	%	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
302SV	Kaubandus	8.7/-8.2	1.2	50	-1.0	16.7	19.0	18	17.9	20.2	19.2
303SV	Kaubandus	9.0/-8.1	1.2	48	-1.0	16.7	19.1	18	17.9	20.3	19.3
304SV	Kaubandus	4.0/-3.9	1.3	71	-1.4	17	17.0	18	18.3	18.3	16.9
305SV	Kaubandus	4.8/-4.1	1.3	62	-1.2	16.9	20.3	18	18.2	21.6	20.4
306SV	Konverents	4.2/-3.9	1.1	68	-1.4	17	20.2	18	18.1	21.3	19.9
307SV	Konverents	2.7/-2.7	1.2	75	-1.5	16.8	18.8	16	18	20.0	18.5
308SV	Konverents	1.5/-1.5	1.3	75	-1.5	16.8	18.9	18	18.1	20.2	19.0
309SV	Büroo	3.1/-2.9	1.4	69	-1.4	13.7	13.6	15	15.1	15.0	13.6
310SV	Büroo	3.1/-2.5	1.4	69	-1.4	13.6	13.6	15	15	15.0	13.6
311SV	Kino	3.0/-3.0	1.2	73	-1.5	14.8	17.5	16	16	18.7	17.2
312SV	Kino	1.1/-1.1	1.4	78	-1.6	14.7	17.9	16	16.1	19.3	17.7
313SV	Kino	1.0/-1.0	1.3	79	-1.6	14.8	17.7	16	16.1	19.0	17.4
314SV	Kino	1.0/-1.0	1.3	79	-1.6	14.7	17.9	16	16	19.2	17.6
315SV	Kino	1.0/-1.0	1.3	79	-1.6	14.7	17.9	16	16	19.2	17.6
316SV	Kino	3.4/-1.3	1.7	25	-0.5	16.7	20.0	18	18.4	21.7	21.2
318SV	Kaubandus	4.7/-4.2	1.3	64	-1.3	16.9	20.2	18	18.2	21.5	20.2
319SV	Büroo	2.3/-1.9	1.7	46	-0.9	14.5	15.5	15	16.2	17.2	16.3
320SV	Büroo	1.9/-1.4	1.4	44	-0.9	14.6	15.3	15	16	16.7	15.8
321SV	Kasiino	1.0/-0.9	1.4	74	-1.5	16.7	19.7	18	18.1	21.1	19.6
322SV	Söögikoht	3.0/-2.5	1.4	45	-0.9	16.7	19.1	18	18.1	20.5	19.6

Tabelis 4 olevad väärtused on arvutatud kasutades hoonesse paigaldatud ventilatsiooni seadmete tootja tarkvara. Arvutatud realselt paika pandud seadmeid ning nende komponente.

Kõik tabelis 4 olevad väärtused on ka käsitsi arvutatavad, kasutades vastavaid arvutusvalemeid ning tulemused on sarnased spetsiaalse tarkvaraga arvutatule, kuigi kohati natukese ebatäpsemad, sest pole teada ning pole võimalik kasutada tootepõhiseid erinevaid ülekande tegureid.

Soojustagasti suhtarv on määratav valemist

$$\eta = \frac{t_{SP} - t_{V0}}{t_{VT} - t_{V0}}$$

Kus

η on soojustagasti efektiivsus

t_{sp} on sissepuhkeõhu temperatuur, °C

t_{v0} on välisõhu temperatuur, °C

t_{vt} on väljatõmbeõhu temperatuur, °C

Soojustagasti suhtarvu valemist on arvutatav soojustagasti mõju sissepuhke temperatuurile, eeldusel, et soojustagasti suht arv on teada või määratud katseliselt.

Sissepuhke tempartuur on arvutatav valemiga

$$t_{SP} - t_{V0} = \eta \cdot (t_{VT} - t_{V0})$$

Allpool on toodud näide soojatagasti suhtarvuga 0,7 kasutamisel välistemperatuuril 27°C ja väljatõmbe temperatuuril 25°C

$$t_{SP} - 27 = 0,7 \cdot (25 - 27)$$

$$t_{SP} - 27 = -1.4$$

$$t_{SP} = 25.6$$

Temperatuuri tõus ventilaatoris on avaldatav läbi ventilaatori SFP, ehk erivõimsuse, mis on arvutatav valemiga

$$SFP = \frac{N}{L}$$

$$N = L \cdot \rho \cdot \Delta t \rightarrow \Delta t = \frac{N}{\rho \cdot L}$$

Kus

N on ventilaatori võimsus kW

L on õhuvooluhulk m³/s

SFP on ventilaatori erivõimsus kW/m³/s

ρ on õhu tihedus 1.16 kg/m³

Teades ventilaatori erivõimsust saame avaldada temperatuuri tõusu valemist:

$$\Delta t = \frac{SFP}{\rho}$$

Efektiivsemate ventilaatorite kasutamisel oleks võimalik temperatuuritõusu ventilaatoris vähendada ka alla 1°C, tõstes seeläbi jahtus võimsust ning alandades ka üleüldist energiatarvet. Näiteks ventilaatoriga, mille erivõimsus on 0.9 kW/m³/s oleks temperatuuri tõus ~0.8°C.

$$\frac{0.9}{1.16} = 0.77^\circ\text{C}$$

Jahutuskalorifeerist väljuva õhutemperatuuri arvutuseks tuleks pöörduda tootja poole ning vastavalt tootekoodile teostada vastavad arvutused või siis määrata võimsus ja temperatuur katseliselt

Tabelis 5 on toodud jahutuskalorifeeride võimsus tarve ning sissepuhke temperatuurid ja suhtelised niiskused erinevate külmakandja temperatuuride korral. Arvutusteks kasutati ventilatsiooni seadmete tootja tarkvara. Tabelist on näha, et kui tõsta külmakandja pealevoolu temperatuuri selliselt, et säiliks temperatuuride vahe 5°C, siis sissepuhke temperatuurid jääksid sarnaseks kui kasutada 8/18°C temperatuuriga külmakandjat. Mõnel juhul saaks isegi madalamat sissepuhke temperatuuri. See on selgitatava asjaoluga, et väiksema temperatuuride vahe korral on kalorifeeris kaks korda suurem vooluhulk, mis vastab esialgselt projekteeritule ning seega on ka kalorifeeri ülekande tegur mõnevõrra parem. Väiksema temperatuuri vahe korral oleks pumba vooluhulk oluliselt suurem, aga samas saaks säilitada kõikide ventilatsiooniseadmete reguleerventiilid. Tõstes temperatuurigraafikut tõuseks ventilatsiooniseadmete sissepuhke temperatuurid välisõhu parameetritel 27°C RH50% keskel läbi 1°C võrra, võrreldes projektis ettenähtud sissepuhke õhu temperatuuriga.

Tabel 4 Ventilatsiooni kalorifeeride võimsused ja sissepuhke temperatuurid

Tähis	Teen. ruumid	Ventilaator			Jahutuskalorifeer						SP temp. Projekt	
		öuhulk	7/12 °C			8/18 °C			13/18 °C			
			t	N	RH	t	N	RH	t	N		RH
			m ³ /s	°C	kW	°C	kW		°C	kW		
302SV	Kaubandus	8.7/-8.2	16.7	151	86.3	19.0	94.6	78.5	19.0	86.4	81.0	18
303SV	Kaubandus	9.0/-8.1	16.7	156	86.6	19.1	96.6	78.2	19.1	88.1	80.7	18
304SV	Kaubandus	4.0/-3.9	17	67.7	79.4	17.0	59.8	84.7	17.0	52.7	89.7	18
305SV	Kaubandus	4.8/-4.1	16.9	77.9	82.3	20.3	39.6	75.1	19.5	44.2	78.9	18
306SV	Konverents	4.2/-3.9	17	68	81.3	20.2	35.1	75.5	19.2	40.3	80.4	18
307SV	Konverents	2.7/-2.7	16.8	44.8	81.9	18.8	30.2	79.1	18.8	27.6	81.7	16
308SV	Konverents	1.5/-1.5	16.8	24.9	82.3	18.9	16.8	78.5	19.0	14.9	90.0	18
309SV	Büroo	3.1/-2.9	13.7	69.2	93.4	13.6*	67.7	95.1				15
310SV	Büroo	3.1/-2.5	13.6	69.7	93.8	13.6*	68.8	95.6				15
311SV	Kino	3.0/-3.0	14.8	61.6	88.4	17.5	40.0	84.3	17.6	36.2	87.0	16
312SV	Kino	1.1/-1.1	14.7	22.6	89.7	17.9	13.9	83.3	17.9	12.7	86.0	16
313SV	Kino	1.0/-1.0	14.8	20.5	88.6	17.7	13.0	84.0	17.7	11.8	86.8	16
314SV	Kino	1.0/-1.0	14.7	22.6	89.7	17.9	13.9	83.3	17.9	12.7	86.0	16
315SV	Kino	1.0/-1.0	14.7	22.6	89.7	17.9	13.9	83.3	17.9	12.7	86.0	16
316SV	Kino	3.4/-1.3	16.7	56.4	82.5	20.0	28.9	76.1	19.2	32.4	80.1	18
318SV	Kaubandus	4.7/-4.2	16.9	76.3	82.1	20.2	38.9	75.2	19.4	43.6	79.1	18
319SV	Büroo	2.3/-1.9	14.5	46.9	93.6	15.5*	41.9	90.2				15
320SV	Büroo	1.9/-1.4	14.6	38.3	92.2	15.3*	35.1	91.2				15
321SV	Kasiino	1.0/-0.9	16.7	16.6	83.1	19.7	9.1	76.9	19.4	9.3	79.2	18
322SV	Söögikoht	3.0/-2.5	16.7	50.1	82.7	19.1	32.2	78.2	19.1	29.4	80.7	18

* külmakandja temperatuur 8/13

Erilist tähelepanu tuleb pöörata kuivatusfunktsionaalsusega seadmetele, kuna temperatuurirežiimis 13/18°C ei toimuks ettenähtud kuivatust. Seega tuleb antud süsteemid lahendada sõlmes selliselt, et alati oleks tagatud minimaalne pealvoolu temperatuur ning algses projektis toodud temperatuuride vahe. Seadmed töötaks temperatuurirežiimil 8/13°C, mille erinevus algsest, 7/12°C oleks minimaalne.

3.2.3 Jahutus

Hoones on kaks peamist jahutussüsteemi 401 ja 403, mille soojakandjaks on vesi, 22 külmaine baasil töötavat nn. split jahuti süsteemi ning üks täppiskonditsioneer süsteem. Veebaasil süsteemide koguvõimsus on 2150 kW, külmaine baasil süsteemide koguvõimsus on 55kW täppiskonditsioneer on võimsusega 20kW. „Split“ süsteemid teenindavad pisemaid kilbi-, nõrkvoolu-, projektorite- ning serveriruumi. Täppiskonditsioneer teenindab suuremat serveri/telekommunikatsiooni ruumi. Veebaasil süsteemidest 401 teenindab ruumide jahutuskonvektoreid, jahutustalaseid ning väikeses mahus ka ventilatsioonisüsteeme. Süsteem 403 teenindab ainult ventilatsioonisüsteeme.



Joonis 12 Vaade külmaasinala

Jahutussüsteem 401 koosneb veejahutist, akumulatsiooni mahutist ning kompressorjahutusseadmest. Süsteemil on ka vabajahutusfunktsionaalsus. Süsteemi jahutusvõimsus on 1150kW veejahutite võimsus on 2x730kW. Tabelis 6 on toodud süsteemi 401 võimsuste jaotus. Süsteemi koguvõimsus on suurem kui külmamasina võimsus kuna on arvestatud jahutusvajaduse üheaegsusega.

Tabel 5 Jahutusüsteemi 401 võimsuste jaotus

Külmamasin	Jahutusvõimsus		Elektrivõimsus
7/12C	kW	W/m ²	kW
401KM Ventilatsioon	260	11,3	
401KM Ventilaatorikonvektorid	955	41,6	
401KM Jahutustalad	220	9,6	
Kokku	1435	62,4	
401KM	1150kW	50	320kW

Jahutussüsteem 403 koosneb kahest komplektsest külmamasinast, kumbki võimsusega 500kW kokku 1000kW ning akumulatsiooni mahutist. Komplektsed külmamasinad on paigaldatud hoone katusele. Tabelis 7 on toodud süsteemi 403 võimsuste jaotus. Süsteemi võimsus ning külmamasinade võimsusel üheaegsusega pole arvestatud, kuna süsteem teenindab ainult ventilatsiooniseadmeid ning õhutemperatuur kõigile seadmetele jahutusolukorras on sama.

Tabel 6 Jahutussüsteemi 403 võimsuste jaotus

Külmamasin	Jahutusvõimsus		Elektrivõimsus
	kW	W/m ²	kW
7/12C			
403KM Ventilatsioon	1038	45,2	2x175
Kokku	1038	45,2	
403KM	1000kW	43,5	350kW

Hoones on kasutuses kahte tüüpi „fancoile“, ühed mis peavad olema võimelised tagama jahutusvõimsuse 3.5kW keskmisel kiirusel, ruumiparameetritel 24°C RH50% ning müratasemel <=40dB(A) ning teised mis peavad samadel tingimustel tagama jahutusvõimsuse 6kW. [18]

Lisaks on hoones ka kahte tüüpi kondensaadivabasid aktiivjahutustalaseid, millest ühed on mõõduga 600x600 ning teised 600x1200. Antud seadmetele käesolevas töös väga palju ei keskenduta, kuna nende külmakandja temperatuure ei muudeta.

Fancoili võimsuse arvutuses saab kasutada kahte otseaurustusega märgkalorifeeri valemit ning veejahutusega märgjahutuse valemit, mille protsessi kulg on lähedane otseaurustusele.

$$\Phi_{\text{jahutus}} = L_m \cdot (h_1 - h_2)$$

Kus

Φ – jahutusvõimsus, kW

L_m – massivooluhulk kg/s

h_1 – jahutatava õhu algentalpia kJ/kg_{kö}

h_2 – jahutatava õhu lõppentalpia kJ/kg_{kö}

Ilmse võimsuse arvutuse saab teha kasutades entalpia asemel temperatuure.

Kontrollarvutus

Arvestame õhuhulgaks $0,228\text{m}^3/\text{s}$. Seejärel leiame Hx diagrammilt h_1 – jahutatava õhu algentalpia 24°C RH50% juures, milleks on $37\text{kJ}/\text{kg}_{\text{kö}}$
 h_2 – jahutatava õhu lõppentalpia 12°C RH90%, milleks on $29\text{kJ}/\text{kg}_{\text{kö}}$.

Saame arvutuse

$$0,228 \cdot 1,2 \cdot (37 - 29) = 2.19 \text{ [kW]}$$

Saadud tulemus on sarnane allpool toodud tabelis 6 tootja 1 tarkvaraga arvutatule.

Sisspuhke temperatuuri võib arvutada järgneva valemiga.

Õhutemperatuur peale jahutit

$$t_2 = t_p + b(t_1 - t_p)$$

Jahutuspatarei pinnatemperatuur

$$t_p = (t_{w1} - t_{w2})/2$$

Möödaviigutegur

$$b = (h_2 - h_{tp})/(h_1 - h_{tp})$$

Kus

t_1 – õhu algtemperatuur enne jahutuspatareid $^\circ\text{C}$

t_p – jahutuspatarei pinnatemperatuur $^\circ\text{C}$

b – möödaviigu tegur, hindab töötlemata jäänud õhku

h_1 – jahutatava õhu algentalpia $\text{kJ}/\text{kg}_{\text{kö}}$

h_2 – jahutatava õhu lõppentalpia $\text{kJ}/\text{kg}_{\text{kö}}$

h_{tp} – õhu entalpia jahutuspatarei keskmisel $\text{kJ}/\text{kg}_{\text{kö}}$

[19, lk 34–36]

Allpool olevates tabelites 8 ja 9 on toodud ventilaatorkonvektorite ehk fancoilide võimsuste arvutused erinevatel soojakandja temperatuuridel. Arvutused on teostatud tootjate sertifitseeritud arvutustarkvaradega, mis on mõeldud konkreetse tootja konkreetsete toodete arvutuseks. Kasutatud on kolme erineva fancoili tootja arvutustarkvarasid. Nagu allpool olevatest tabelitest näha, siis võimsuste muutused võivad olla kohati päris suured.

Tabel 7 Fancoili võimsuste võrdlustabel

24°C RH50%		Vee temperatuur 7/12°C				Vee temperatuur 8/18°C			
Mudel	Kiirus	Õhuhulk m ³ /h	Kogu W (E)	Ilmne W (E)	SP temp °C	Kogu W (E)	Ilmne W (E)	SP temp °C	Lw dB(A) (E)
Tootja 1									
SK 42	max	1140	4529	3651	13.1	2685	2584	16.2	48
SK 42	med	820	3640	2872	12.3	2175	2065	15.5	40
SK 42	min	630	3141	2447	11.8	1892	1778	15.1	33
Tootja 2									
50 AC	max	980	4860	3790	12.4	2090	2090	17.6	49
50 AC	med	720	3520	2740	12.6	1360	1360	18.4	40
50 AC	min	620	2660	2060	12.4	1040	1040	18.1	35
Tootja 3									
60 M	max	390	2390	1810	x	1680	1460	17.6	32
60 M	med	360	2270	1720	x	1620	1410	18.4	30
60 M	min	275	1830	1380	x	1360	1190	18.1	23
Võimalik asendusseade									
SK 52	med	970				3122	2894	13.9	40
SK 52	min	710				2492	2267	13.3	34

Üleval pool toodud tabelis 8 on toodud kolme erineva tootja arvutusprogrammide arvutustulemused. Esimesele juhul säilitab „fancoil“ ~60% kogu jahutusvõimsusest ning 70% ilmsest jahutusvõimsusest. Teise tootja puhul säilitab ~40% ja 50% ning kolmanda puhul säilitab 70% ja 80%. Teise tootja puhul on olulise võimsuse languse taga fancoili ehitus. Kui esimese ja kolmanda puhul juhitakse ruumi õhk jahutuskalorifeeri läbi kõrgema temperatuuriga kontuuri (18°C) ning kalorifeerist väljuva õhu juures paikneb madalama temperatuuriga kontuur(8°C), tagades sedasi madalama sissepuhke õhu temperatuuri kui 18°C siis teise tootjal on kalorifeeri paigutus vastupidine, tagades 18°C lähedase sissepuhke temperatuuri. Hoones on kasutuses tootja 1 fancoilid. Tabelis on toodud ka võimalike asendus fancoilide arvutus, millega suudetakse tagada projektdokumentatsioonis ettenähtud ilmsed jahutusvõimsused 8/18°C graafiku juures. Ilmne võimsus tagatakse ~15% väiksema koguvõimsuse juures.

Kui soovida jätta torustikus voolava külmakandja vooluhulgad samaks tuleks kasutada samasuure temperatuuri vahega külmakandjat. Tabelist 9 on näha, et kui jätta temperatuuride vahe samaks, aga tõsta temperatuure 13/18°C, siis fancoil säilitaks ettenähtud ilmsest võimsusest ~60% ning kogu võimsus väheneks üle 50% kuna kondenseerumist ei toimuks.

Tabel 8 Fancoili võimsuste võrdlustabel

24°C RH50%		Vee temperatuur 7/12°C				Vee temperatuur 13/18°C			
Mudel	Kiirus	Õhuhulk m ³ /h	Kogu W (E)	Ilmne W (E)	SP temp °C	Kogu W (E)	Ilmne W (E)	SP temp °C	Lw dB(A) (E)
SK 42	max	1140	4529	3651	13.1	2176	2176	17.5	48
SK 42	med	820	3640	2872	12.3	1731	1731	16.9	40
SK 42	min	630	3141	2447	11.8	1488	1488	15.1	33

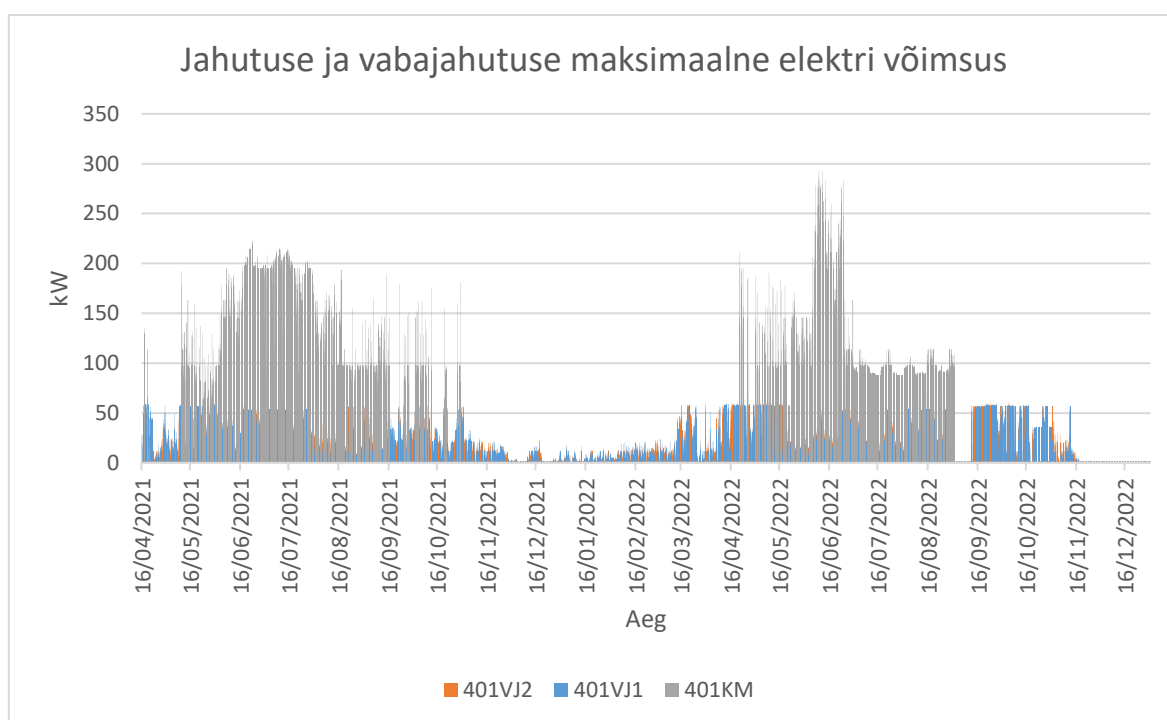
3.2.3 Jahutussüsteemide elektritarbimised

Allpool oleval joonisel 13 on toodud veejahutite ja jahutuskonvektoreid teenindava külmamasina elektri tunnitarkimised perioodil 16.04.2021 kuni 31.12.2022. Võimsused graafikus on toodud tunni kaupa. Tabelis 10 on toodud külmamasinate jahutusvõimsused ning elektrivõimsused.

Tabel 9 Külmamasinad ja võimsused

Külmamasin	Jahutusvõimsus		Elektrivõimsus
	kW	W/m ²	kW
401KM	1150kW	50,0	320kW
403KM1 Ventilatsioon	500	21,8	175
403KM2 Ventilatsioon	500	21,8	175

Joonis 13 401KM ja 401VJ1 401VJ elektri tunnitarkimised



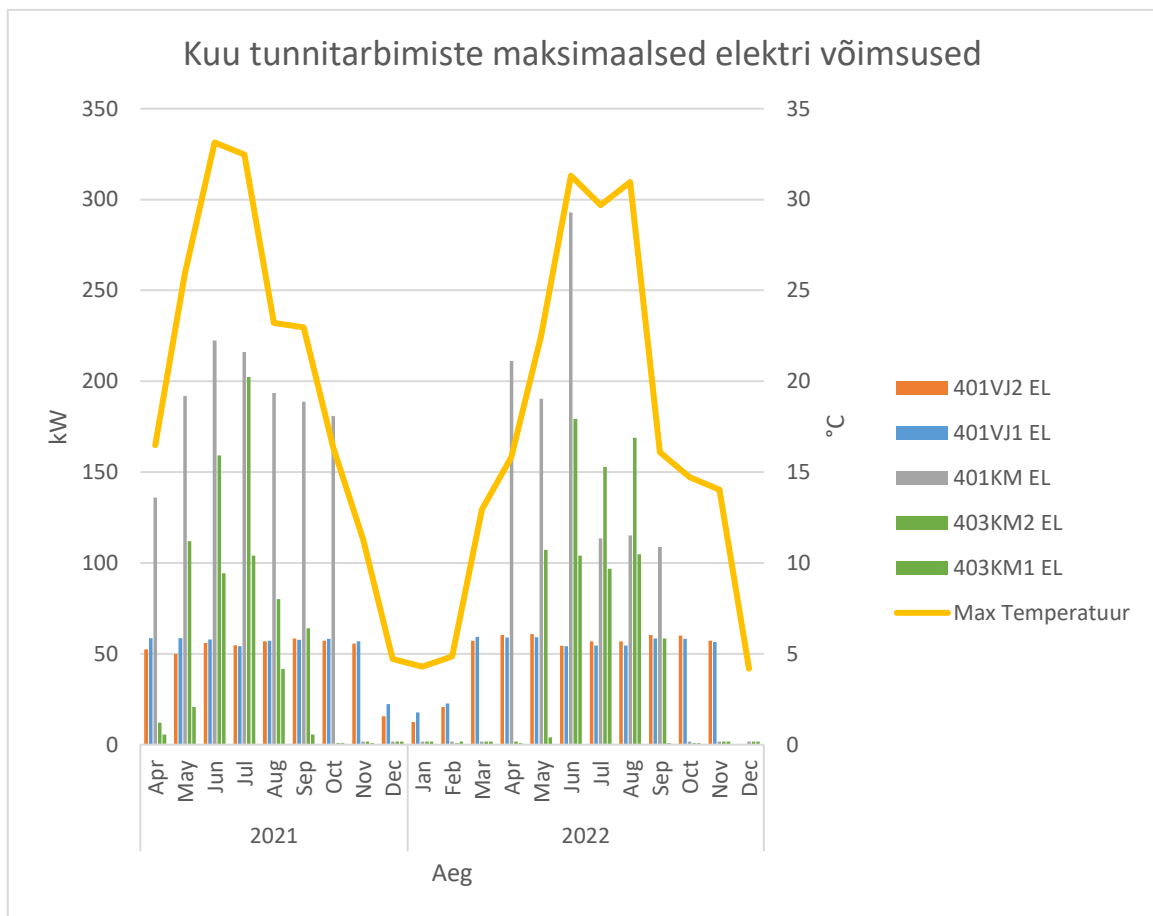
401VJ1 ja 401VJ2 – vedelikjahuti

401KM – Külmamasin, mis teenindab jahutusseadmeid (fancoilid, jahutustalad)

Joonisel 13 on näha, et fancoile ning jahutustalaid teenindava külmamasina tarbitav elektri võimsus on 2022 aasta juunikuus käinud ära seadme elektri tipuvõimsuse, 320kW, lähistel. Mis tähendab, et seade on töötanud tipu jahutusvõimsuse lähistel. 2021. aastal aga on elektrivõimsused püsinud kahe kolmandiku peal maksimumist.

Joonisel 14 on toodud külma tootmiseseadmete maksimaalsed elektri võimsused ühe tunnis jooksul igast kuust. Jooniselt on näha, et 401KM on saavutanud omal tipulähedased koormused ning samuti ventilatsioonisüsteeme teenindavad seadmed 403KM 1 ja 2. Joonist vaadates tuleb arvestada, et ventilatsioonisüsteeme teenindavata seadmetega on ühendatud ka päikeseelektri jaam, mille elektri toodang arvestatakse otse maha süsteemi 403 elektri tarbimisest. Seetõttu jääb mulje, et 403 seadmetest üks ei tööta maksimum võimsustel kuigi tegelikult töötab.

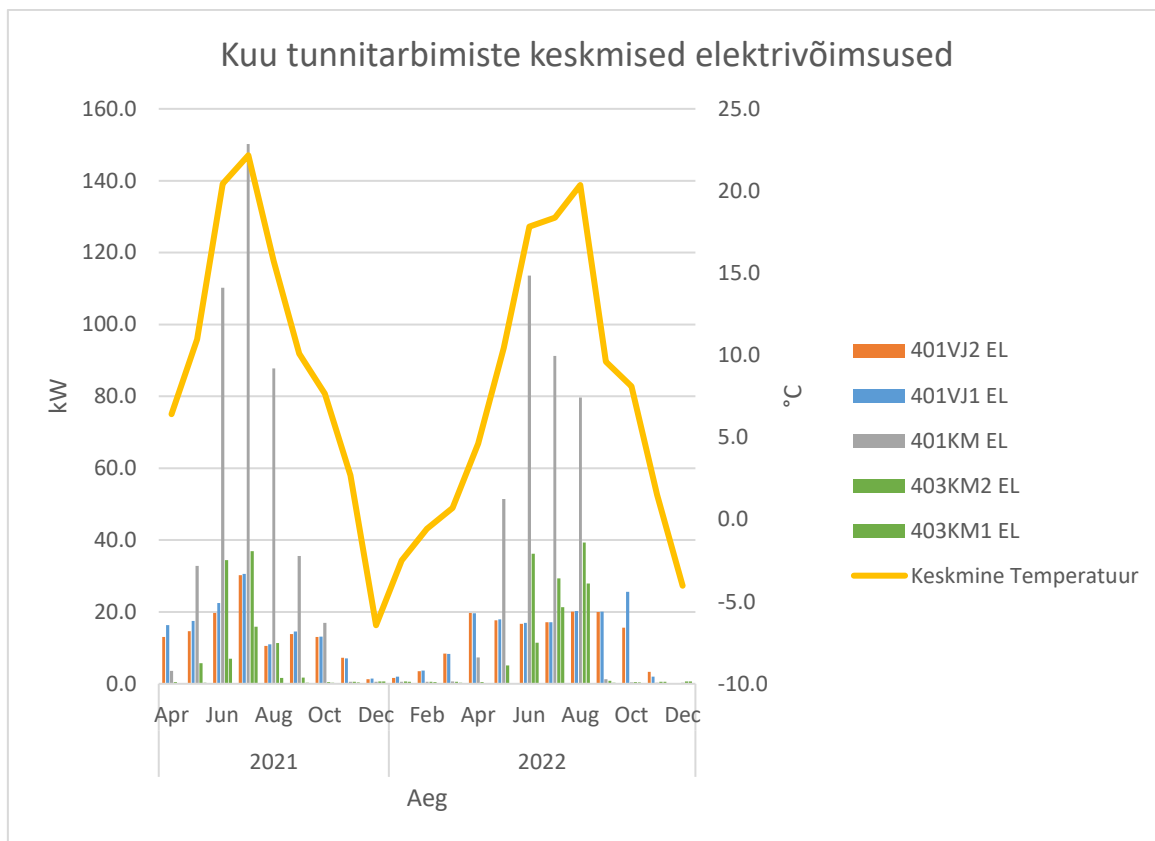
Joonis 14 Külmmasinate ja veejahutite kuu tunni maksimaalsed võimsused



401VJ1 ja 401VJ2 – vedelikjahuti
 401KM – Külmasin, mis teenindab jahutusseadmeid (fancoilid, jahutustalad)
 403KM1 ja 403KM2 – Külmasinad, mis teenindavad ventilatsiooni seadmeid

Joonisel 15 on toodud kuu tunni keskmised seadmete elektrivõimsused. Kui vaadata joonist 13 ja 14 ning nendelt seadmetelt tunni maksimaalseid ning keskmisi võimsusi siis joonistub välja, et vabajahutus leiab palju kasutust.

Joonis 15 Külmmasinate ja veejahutite kuu tunni keskmised võimsused

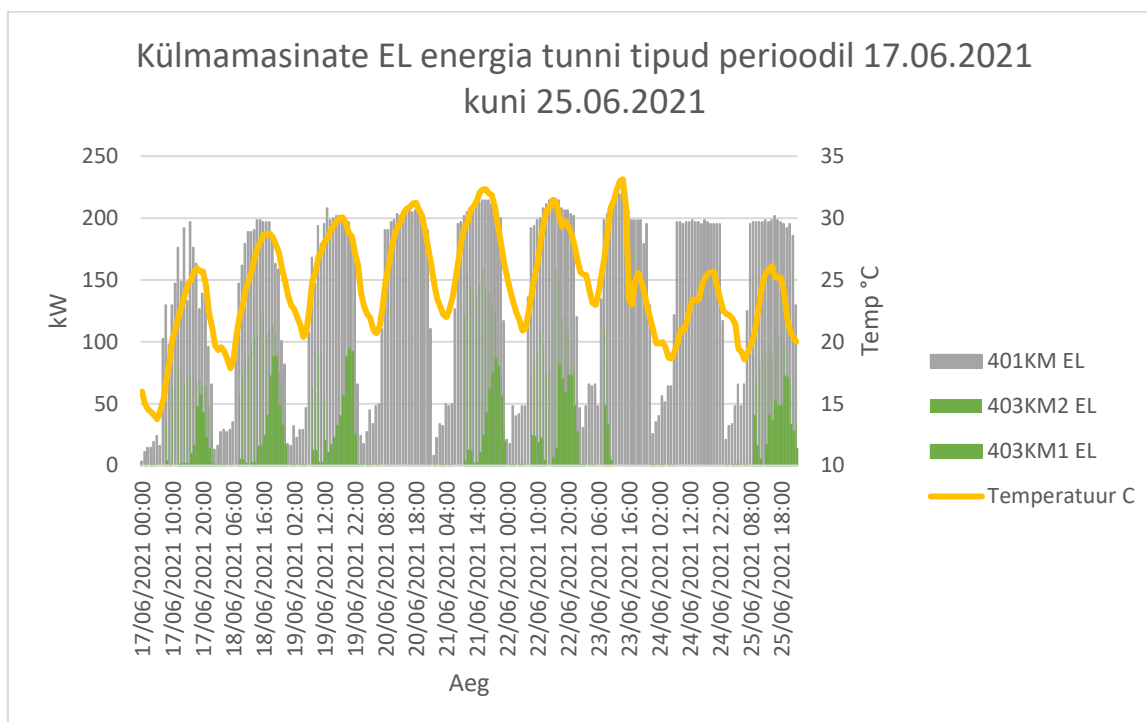


401VJ1 ja 401VJ2 – vedelikjahuti

401KM – Külmmasin, mis teenindab jahutusseadmeid (fancoilid, jahutustalad)

403KM1 ja 403KM2 – Külmmasinad, mis teenindavad ventilatsiooni seadmeid

Joonis 16 Külmamasinate elektrienergia tunni tipud perioodil 17.06.2021 kuni 25.06.2021

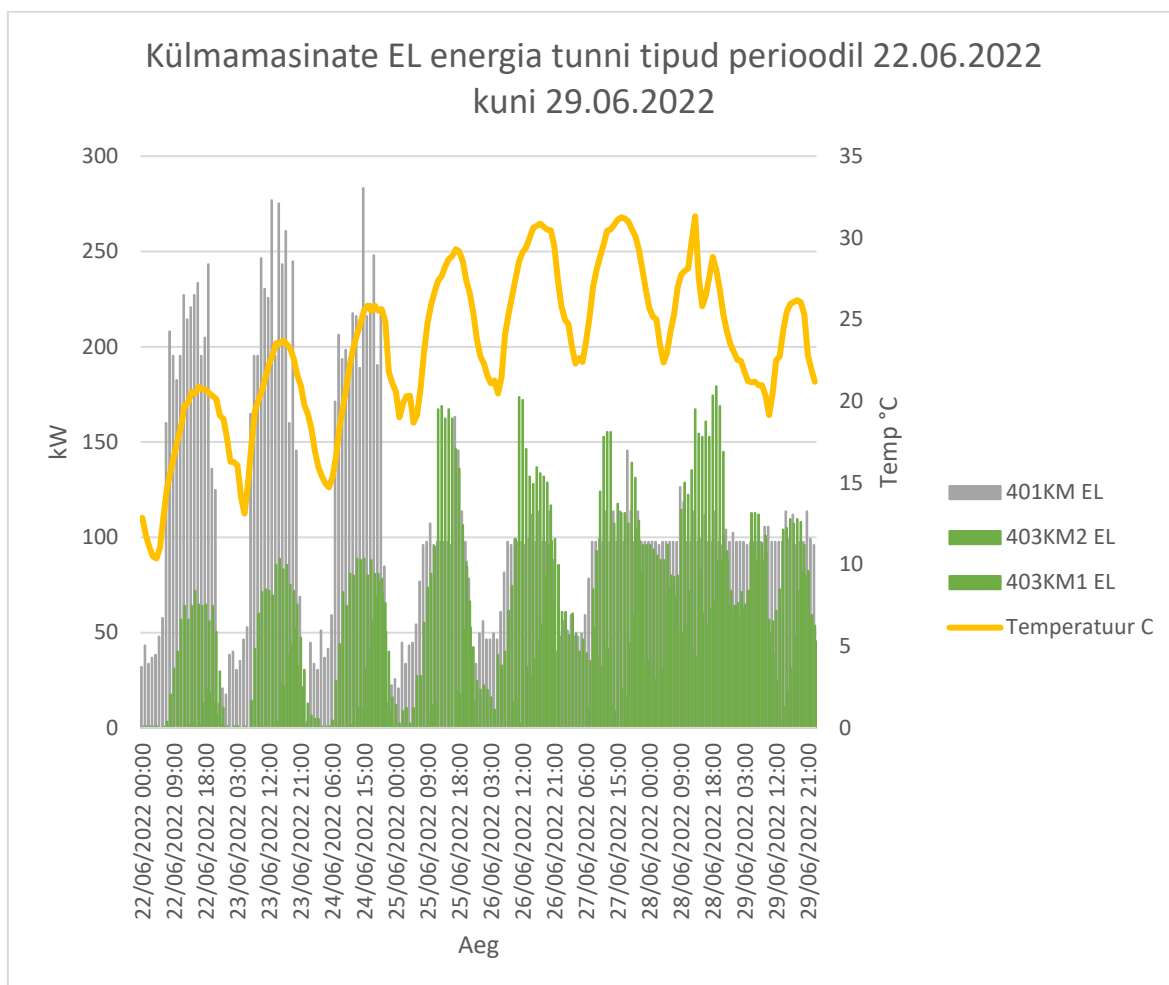


401KM – Külmamasin, mis teenindab jahutusseadmeid (fancoilid, jahutustalad)
 403KM1 ja 403KM2 – Külmamasinad, mis teenindavad ventilatsiooni seadmeid

Üleval toodud joonisel 16 on esitatud külmasinate elektrienergia tunni tipud perioodil 17.06.2021 kuni 25.06.2021 ning tarbimised on kõrvutatud antud perioodi temperatuuridega. Graafikult on näha, et ventilatsiooni seadmeid teenindavate külmasinatega on esinenud antud perioodil probleeme. Samas on ka näha, et seadmed on töötanud oma tipuvõimsuste (175kW) lähedastel võimsustel 150kW, kui välistemperatuur on ületanud 30°C, mis on kõrgem kui ventilatsioonisüsteemide disain välistemperatuur. Fancoile teenindav külmasin 401KM, on aga töötanud ligikaudu 70% maksimumvõimsusest.

Ventilatsioonisüsteeme teenindavad külmasinate võimsustarbed peaksid olema väga otseses seoses välistemperatuuriga, kuna välistemperatuur on kõigile ventilatsiooniseadmetele sama ning seega koormuste jaotuste erinevust ei esine. Fancoile teenindava külmasina puhul on olukord natuke teine, kuna koormuse jaotus sõltub lisaks ka päikese kiirgusest, mis sõltuvalt kellaajast mõjutab erinevaid fassaade erineva võimsusega. Antud hoone puhul on ka oluline asjaolu, et tegemist on suures osas kaubandushoonega, mille paljudel pindadel pole suurt päikese koormust. Graafikult toodud perioodi vaadeldes paistab 401KM tasakaalupunkt olevat 200kW sisendvõimsuse juures. Kui arvestada jahutusteguriks 2.8 tähendaks ligikaudu 560kW jahutusvõimsust.

Joonis 17 Külmmasinate elektrienergia tunni tipud perioodil 22.06.2022 kuni 29.06.2022



401KM – Külmasin, mis teenindab jahutusseadmeid (fancoilid, jahutustalad)
 403KM1 ja 403KM2 – Külmasinad, mis teenindavad ventilatsiooni seadmeid

Seadmete eluea lõpu elektri tarbimisvõimsuste põhjal järelduste tegemine ei pruugi soovitud tulemust anda. Joonistuvad küll välja üldisemad trendid kuid selle põhjal süsteemi dimensioneerimisel kinnituse saamine võib olla liiga empiiriline. Kõrgema tarbitud võimsused ei pruugi olla seotud jahutusvajadusega, nagu ülevalpool toodud jooniselt 17 nähtub. Külmaajama 401KM, mis teenindab hoone fancoile, tipud leiavad aset perioodil, mil välistemperatuur on alla disaintemperatuuri, samas kui välist disaintemperatuuri on ületatud mitme kraadi võrra töötab seade kolmandikul maksimaalsest võimsusest. Samas kui ventilatsioonisüsteeme teenindavate seadmete puhul on võimsustarve eelduslikult maksimumi lähedal. Samas vaadates aasta 2021 graafikut on olukord vastupidine. Hästi ilmestab tehnosüsteemide eluea lõpu perioodi võimsustarvete tinglikust tabel 11, kus on toodud perioodi aprill 2021 kuni detsember 2021 seadmete elektri tunnitarkimiste tipud ning välisõhu temperatuur ja niiskuse tipud samal ajal. Ventilatsioonisüsteeme teenindavad seadmed 403KM1 ja 403KM2, kummagi

seadme maksimaalne elektrivõimsus on 175kW. Tabelist on toodud äärmuslikumad juhud punasega välja. Olukorrad kus välisõhu parameetrid on üle disaintemperatuuri või selle lähedal kuid külmamasinate poolt tarbitav elektrivõimsus on 0 kW. Lisaks on ka palju olukordi, kus välisõhu parameetrid on märgatavalt üle disaintingimuste kuid külmamasinatest ainult üks töötab tipuvõimsuse lähistel.

Tabel 10 Aprill 2021 kuni detsember 2021 seadmete elektri tunnitarkimiste tipud

Aeg	401VJ2 (veejah.) kW	401VJ1 (veejah.) kW	401KM (FC) kW	403KM2 (vent.) kW	403KM1 (vent.) kW	Välis temp. °C	Välis Niiskus %
20/04/2021 01:00	52.4	58.2	0.0	0.8	0.0	8	49
18/04/2021 05:00	48.8	58.6	0.0	0.8	0.0	6	50
17/04/2021 17:00	4.4	6.5	136.0	0.0	0.0	16	18
17/04/2021 12:00	48.0	57.1	0.0	12.0	5.6	12	31
30/05/2021 04:00	49.2	58.62	1.6	0.8	0.8	5	72
10/05/2021 17:00	30.8	41.93	192	56.8	0.8	23	33
12/05/2021 16:00	38.4	42.22	131.2	112	0	26	30
12/05/2021 20:00	20.8	22.38	84.8	56	20.8	24	37
16/05/2021 03:00	50	56.39	0	0	0	11	92
23/06/2021 14:00	44	52.86	222.4	0.8	0	33	35
21/06/2021 16:00	44.8	52.72	214.4	159.2	24	32	42
19/06/2021 20:00	44.8	53.18	196.8	0.8	94.4	29	41
18/06/2021 16:00	56	53.94	196.8	122.4	24	29	33
02/06/2021 04:00	47.6	57.94	1.6	0.8	0.8	11	78
26/07/2021 11:00	45.2	54.19	195.2	132	0	26	42
12/07/2021 10:00	50.8	45.4	196.8	202.4	0	25	62
11/07/2021 11:00	54.8	51.78	196.8	0	0	25	68
10/07/2021 17:00	51.6	52.66	216	0	0	32	28
09/07/2021 20:00	52.4	53.14	206.4	0	104	27	71
24/08/2021 04:00	56.8	57.22	1.6	0.8	0	8	83
17/08/2021 14:00	29.2	27.24	193.6	78.4	15.2	21	79
17/08/2021 12:00	12.4	25.01	137.6	80	10.4	21	71
01/08/2021 19:00	16.4	11.74	99.2	0.8	41.6	21	55
26/09/2021 20:00	56.8	57.65	0	0	0.8	9	80
25/09/2021 20:00	58.4	56.39	0	0.8	0.8	10	89
11/09/2021 16:00	24.4	25.61	107.2	64	0.8	23	51
06/09/2021 14:00	7.6	9.11	97.6	12	5.6	14	71
30/10/2021 15:00	12	16.75	180.8	0	0	12	68
07/10/2021 01:00	57.2	58.19	9.6	0	0.8	10	63
01/11/2021 15:00	55.6	55.99	0	0.8	0	9	75
01/11/2021 14:00	43.2	56.84	1.6	0	0	11	73
18/12/2021 23:00	15.6	0	1.6	0.8	0.8	5	97
18/12/2021 17:00	0	22.3	0	0	0.8	3	99

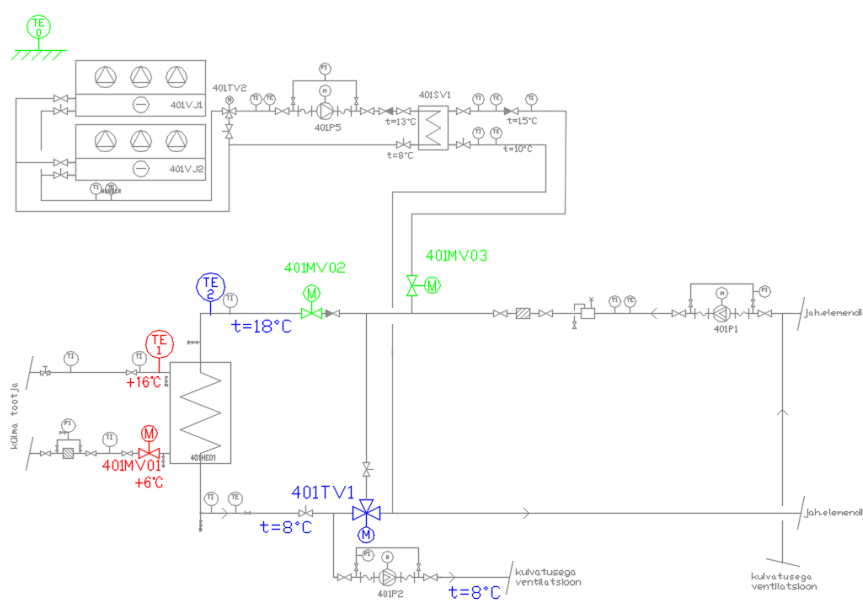
3.2.4 Juhtimine

Joonisel 18 on esitatud juhtimisloogika kui süsteemi on ühendatud kuivatusvajadusega ventilatsiooniseadmed.

Punasega on tähistatud külmatootja olulised punktid. Temperatuuri anduri TE1 järgi juhitakse mootorventiili 401MV01. Külma tootjal on oluline, et tagasivoolu temperatuur oleks vähemalt 16°C. Kui temperatuuriandur TE1 näit langeb alla 16°C sulgetakse ventiili 401MV01, mis omakorda põhjustab hoone poole pealvoolu temperatuuri tõusu ning seeläbi ka tagasivoolutemperatuuri tõusu, tagades sedasi külmatootjale tagasivoolutemperatuuri 16°C.

Sinisega on tähistatud hoone poole juhtimise olulised punktid. Hoone poole on tähtis, et kuivatusega süsteemidele oleks alati tagatud pealevoolu temperatuur 8°C, selleks, et toimuks ettenähtud kuivatus kondenseerumise läbi. Et tagada pealevoolu temperatuur 8°C tuleb tagada soojusvahetisse tagasivoolu temperatuur 18°C. Selleks juhitakse 3T ventiili 401TV1 temperatuuri andur TE2 järgi selliselt, et temperatuuri anduri näidu langemisel alla 18°C suurendatakse tsirkulatsiooni vooluhulka. Temperatuuriandur TE2 näidu tõusmisel üle 18°C langetatakse tsirkulatsiooni vooluhulka.

Rohelisega on tähistatud vabajahutuse juhtimise olulised punktid. Välistemperatuuri anduri TE0 näidu järgi käivitatakse vabajahutus. Selleks sulgetakse mootorajamiga ventiil 401MV02 ja avatakse mootorajamiga ventiil 401MV03



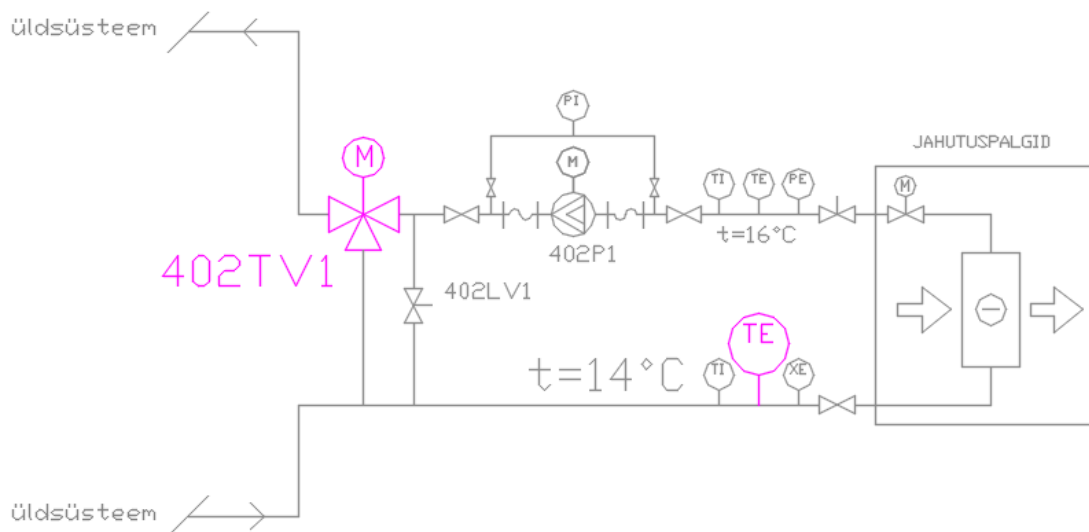
Joonis 18 Jahutussüsteemi põhimõtteline skeem

Vabajahutus peab tagama ainult fancoilidele ja jahutustaladele jahutuse. Ventilatsioonisüsteemi jahutama ei pea, kuna vabajahutus töötab selliste välistemperatuuride juures, mil ventilatsioonisüsteem tahab pigem kütmist.

Kui süsteemis kuivatusvajadus puudub siis pole hoone poolel vajadust ka segamist läbi viia. Külmatootja poolse mootorventiili abil saab tagada sobiva tagasivoolu temperatuuri ning pumba tootlikkuse reguleerimise abil soovitud külmakandja temperatuuride vahe.

Fancoilide juhtimine toimub ventilaatori tootlikkuse juhtimise ning külmakandja vooluhulga juhtimise abil. Fancoilide ventiilidest reeglina üksi ei piisa, et hoida tagasivoolu temperatuuri soovitud tasemel kuna soojusväljastus ei ole ventiilis lineaarse suhtena reguleeritav, seega kaugjahutusega süsteemide puhul ei pruugi alati olla tagatud ettenähtud pealevoolu temperatuur, kui sõlmes pole selleks eraldi lahendust ette nähtud.

Kondensaadivabade jahutustalade pealevoolu temperatuur tagatakse segamissõlmega. Kus juhitakse temperatuuriandur järgi 3T ventiili, selliselt, et pealevoolu temperatuur ei langeks alla 14°C. Jahutustaladele oleva mootorventiiliga juhitakse jahutuskandja vooluhulka vastavalt ruumi jahutusvajadusele.



Joonis 19 Jahutustalade segusõlm

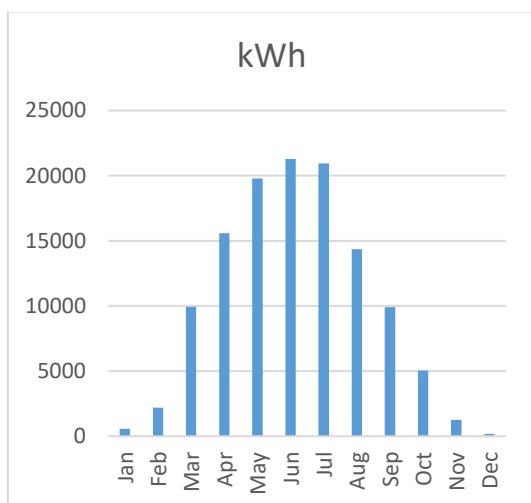
3.2.5 Päikeseelektriijaam

Allpool oleval joonisel 21 on toodud päikeseelektriijaama toodang kuude lõikes. Arvutatud on kolme aasta kuude keskmised toodangud, perioodi 2020-2022. Aasta keskmine toodang on ligikaudu 121 000 kWh. Päikeseelektriijaam on hoone sisekliimat tagavate tehnosüsteemide kontekstis oluline, kuna selle energiatoodang läheb otse ventilatsioonisüsteeme teenindava külmajaama tarbeks, mistõttu on ka ühe külmajaama energiatarve ning tipuvõimsused päikeseelektriijaama toodangu võrra väiksemad. Joonisel 21 ja tabelis 12 on toodud päikeseelektriijaama toodangu igakuised energiakogused.



Joonis 20 Vaade päikeseelektriijaamale

Joonis 21 Päikeseelektriijaama toodang



Tabel 11 Päikeseelektriijaama toodang

Kuu	kWh	kWh/m ²
Jaanuar	573	0.025
Veebruar	2202	0.096
Märts	9936	0.43
Aprill	15574	0.68
Mai	19797	0.86
Juuni	21277	0.93
Juuli	20931	0.91
August	14350	0.62
September	9900	0.43
Oktoober	5054	0.22
November	1269	0.055
Detsember	185	0.008

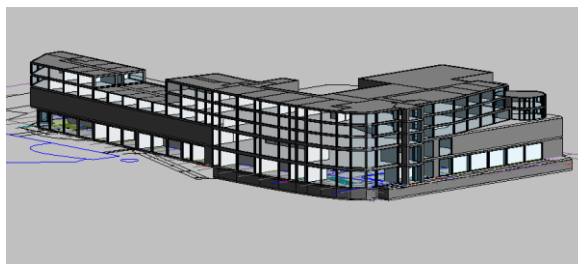
3.3 Hoone simulatsioonid

Koostatud mudeli põhjal viidi läbi simulatsioonid jahutusvõimsuste määramiseks ning hoone jahutusüsteemi energiatarbe välja selgitamiseks. Esmalt teostati mitmeid energiatarbe simulatsioone mille põhjal kalibreeriti baas mudeli vabasoojuste energiatarve. Seejärel loodi kalibreeritud vabasoojustega baasmudeli põhjal kolm erinevat simulatsiooni mudelit. Esimene mudel loodi hoone jahutusvajaduse dimensioneerimiseks, et selgitada välja, kas paigaldatud jahutus võimsused on piisavad tagamaks sobivat sisekliimat arvutustingimustel.

Teine mudel loodi, et simuleerida sisekliimatingimusi paigaldatud jahutusvõimsustel, projekteeritud külmakandja temperatuuridel ning selgitada välja probleemseid kohad. Kolmas mudel loodi, et simuleerida sisekliimatingimusi kõrgematele külmakandja temperatuuridele vastavaks korrigeeritud paigaldatud jahutusvõimsustel. Selgitamiseks välja probleemseid kohad ning võimalikud lahendused ja töömahud olukorra parandamiseks.

3.3.1 Hoone mudel

Hoone energiasimulatsiooni mudeli koostamiseks kasutati modelleerimiseks joonestus tarkvara Revit 2022. Revitis modelleeriti DWG plaanide ning lõigete põhjal lihtsustatud mudel ruumiline IFC formaadis mudel hoonest. Mudeli lihtsustamine oli



vajalik, et vältida simulatsiooni tarkvara Joonis 22 Hoone mudel tarkvaras Revit võimalikke vigu, näiteks geomeetria tõlgendamisel või erinevate piirdetüüpide ning nende omaduste tõlgendamisel näiteks klaasfassaadid.

Hoone mudelis on klaasfassaadid modelleeritud kui aknad, vähendatud on erinevate seinte tüüpide arvu, lihtsustatud on hoone geomeetria – kaarjas fassaad on komplekteeritud sirgetest seinte lõikudest. Kallaku all olevad katused on tehtud sirgeks

Revitis modelleeritud mudel on eksporditud IFC formaati ning IFC formaati kasutades on hoone geomeetria ning ruumid imporditud energia ning sisekliima simulatsiooni tarkvarasse IDA ICE 4.8. IDA ICE on lisatud ka kõrval paiknevad hooned, mis varjestavad mõningal määral



Joonis 23 Hoone mudel tarkvara IDA ICE

päikesekiirguse eest. Et vältida võimalikke mudeli konflikte on IFC mudeli võimalikud varjestused välja lülitatud.

Simulatsioonimudelisse sisestatud büroode ja kaubanduspindade soojaeraldused valgustusest ning seadmetest on arvutatud 01.2020-06.2022 elektrinäitude põhjal, arvestusega, et öö tariifi keskmine väljendab pindade seadmete ning valgustuse energiatarbimist töövälisel ajal ning jääk on pindade energiatarve tööajal. On arvutatud antud perioodi päevatariifi keskmine ning öö tariifi keskmine ning simulatsiooni jaoks on tarbimine teisendatud vastavaks simulatsiooni graafikule. Arvestatud on, et päevatariifi kestvus on 15h kuid tööaeg kõigest 10h, seega tööaja tegelik võimsus tunni kohta on kõrgem kui päevatariifi keskmine. Antud erinevus mõjutab ruumi jahtus võimsust. Seega on oluline antud teisendus ära teha. Teisenduse tegemiseks arvutatakse öö tariifi keskmine tarbimine tunni kohta. Seejärel korrutatakse antud tarbimine reaalse töövälise ajaga. Saadud tulemus lahutatakse kogu tarbimisest ning jääk jagatakse töötundidega. Saades sedasi korrigeeritud tunni võimsuse, mis seejärel taandatakse pinna ühikule. Arvutuste tulemused on toodud allpool olevas tabelis 13.

Tabel 12 Elektri öö ja päevatariifide teisendused

Pind	Kellaeg	Pindala	Tarbimine	
			Taandamata	Taandatud
		m ²	W/m ²	W/m ²
Müügi- pind 1	10-21	930	12.5	14.1
	21-10		8.2	8.2
Müügi- pind 2	10-21	662	17.3	19.2
	21-10		11.9	11.9
Müügi- pind 3	10-21	40	26.8	29.0
	21-10		20.6	20.6
Müügi- pind 4	10-21	80	12.9	14.8
	21-10		7.7	7.7
Müügi- pind 5	10-21	100	22.0	20.7
	21-10		25.5	25.5
Müügi- pind 6	10-21	264	26.6	29.8
	21-10		17.8	17.8
Büroo- pind 1	8-18	1400	5.5	6.6
	18-8		3.3	3.3
Büroo- pind 2	8-18	376	6.2	7.8
	18-8		2.9	2.9
Büroo- pind 3	8-18	184	5.7	5.9
	18-8		5.1	5.1

Büroopindade tarbimist kirjeldab kõige paremini büroopind 1. Kontroll arvutused tehti veel büroopind 2 (IT ettevõtte) ning büroopind 3 (IT ettevõtte) põhjal ning tulemused olid sarnased, vastavad võimsused $7.8\text{W}/\text{m}^2$ ja $2.9\text{W}/\text{m}^2$ ning $5.9\text{W}/\text{m}^2$ ja $5,1\text{W}/\text{m}^2$.

Simulatsiooni kasutatakse büroopindadel väärtusi $6.6\text{W}/\text{m}^2$ tööajal ning $3.3\text{W}/\text{m}^2$ töövälisel ajal.

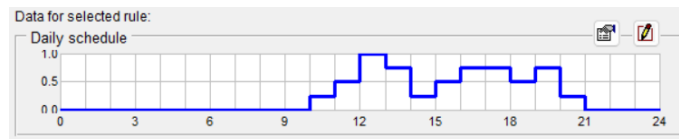
Müügi- ja kaupandusala valgustuslahendus on LED valgustite baasil. Müügi- ja kaupandusala on üleläänud LED valgustitele, aga keskmise arvutuses on sees ka varasem periood ning ülejäänud pinnad on algsete valgustitega.

Simulatsioonis kasutatakse Müügi- ja kaupandusalal väärtusi tööajal $20\text{W}/\text{m}^2$ ning töövälisel ajal $10\text{W}/\text{m}^2$. Täpsemad jaotused on toodud tabelis 14.

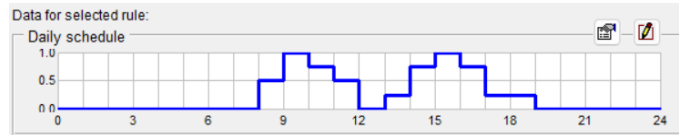
Tabel 13 Simulatsiooni vabasoojuste profiilid

Ala	Tööaeg	Vabasoojusted		
		Valgustus	Seadmed	Inimesed
		W/m^2	W/m^2	in/m^2
Kaupandus	10-21	19	1	0.06
	21-10	9.5	0.5	0
Büroo	8-18	2.3	4.3	0.1
	8-18	1.5	1.8	0
Kino	10-24	15	4	0.17
	24-10	1.5	1.8	0
Kinosaalid	10-24	0.5	0.5	0.47
	24-10	0	0	0
Konverents	10-21	19	1	0.17
	21-10	1.5	0.5	0

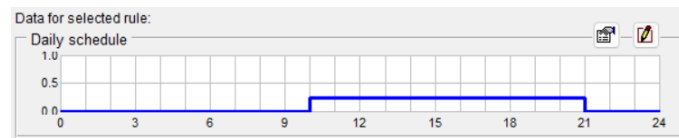
Inimeste liikumisgraafikud on toodud alljärgnevatel joonistel 24 kuni 28. Kaubanduses, kinos ning konverentsisaalis on kasutatud läbivalt ühte profiili, büroos on nädalvahetus eristatud.



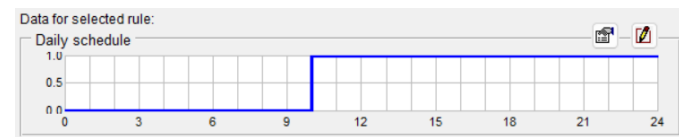
Joonis 24 Inimeste viibimisgraafik. Kaubandus E-P



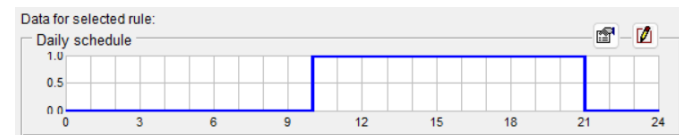
Joonis 25 Inimeste viibimisgraafik. Büroo E-R



Joonis 26 Inimeste viibimisgraafik. Büroo L-P



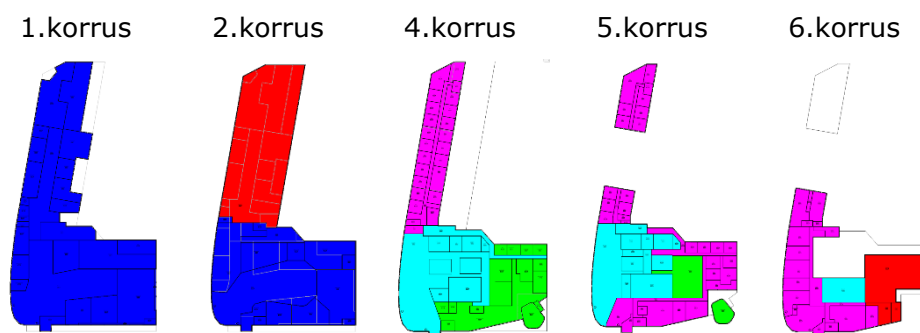
Joonis 27 Inimeste viibimisgraafik. Kino E-P



Joonis 28 Inimeste viibimisgraafik. Konverents E-P

Allpool olevatel joonisel 29 on esitatud hoone kasutusotstarve/piirkondade järgne jaotis korruste lõikes värvikoodide järgi, tabelis on toodud simulatsiooni mudelis kasutatavate ventilatsioonisüsteemide parameetreid. Reaalselt paigas olevate süsteemide arvu on vähendatud, sarnaste kasutusega süsteemid on kokku viidud ning on arvatatu õhuhulga järgi kaalutud keskmised sissepuhke temperatuurid ning efektiivsus näitajad. Ventilatsioonisüsteemide tööaegadeks on arvestatud, et süsteem lülitatakse töösse üks tund enne vastava ala tööaja ning lülitatakse välja üks tund pärast tööaja lõppu.

- Sinine – kaubandus;
- Punane – parkla/tehno;
- Lilla – büroo;
- Helesinine – kino;
- Roheline – konverents



Joonis 29 Hoone kasutusotstarve/piirkondade järgne jaotis

Mudeli süsteem K1 hõlmab endas hoone süsteeme 302SV, 304SV, 305SV, 318SV, 21SV, 322SV. Mudeli süsteemi KO1 vastab 306SV, KO2 vastab süsteemile 307SV ja KO3 308SV. B1 sisaldab süsteeme 309SV ja 310SV ning B2 koosneb 319SV ja 320SV. KINO süsteemi alla on koondatud kokku kõik kino ala teenindavad süsteemid – 311SV kuni 316SV.

Tabel 14 Simulatsiooni ventilatsioonisüsteemide parameetrid

Tähis	Teen. ruumid	ST		SP			SFP
		L	temp.	temperatuur			
		suhtarv	7/12	8/18	13/18		
		m ³ /s	%	°C	°C	°C	kW/m ³ /s
K1	Kogu kaubandus	35.2	56	18	20	19	2.62
KO1	Konverents väik.saal ja üld	4.2	68	18	21	19	2.29
KO2	Konverents 2 suurt saali	2.7	75	18	20	19	2.62
KO3	Konverents Klaassaal	1.5	75	18	20	19	2.69
B1	Büroo 5-6. korrus	6.2	69	15	15*	15*	2.7
B2	Büroo prakla kohal	4.2	45	16	16*	16*	3.01
KINO	Kino	10.5	60	17	20	18	2.81

*Temperatuur 8/13°C

Infiltratsioon on arvatud valemiga [17, §13]

$$q_i = \frac{q_{50}}{3.6 \cdot x} \cdot A$$

kus

q_{50} on hoone välispiirde keskmine õhulekkearv $m^3/(h \cdot m^2)$, on valitud väärtus 2,5;

A on hoone välispiirde (sealhulgas põranda) sisepindala m^2 ;

x on tegur, mis on viie- ja enamakorruselisele hoonele 15;

3,6 on tegur, mis teisendab õhuvooluhulga m^3/h ühikust l/s ühikuks.

Aatriumi põrandatesse on lisatud avad, samuti on lisatud avad poefrontidesse, mis piirnevad aatriumiga.

Varjestuseks on lisatud piirnevad hooned, hotell Dorpat, kõrgusega 21.2m[21] ning Emajõe ärikeskus, nn. Pläsku kõrgusega 51,8m [22].

Piiretena kasutatud projektijärgseid piirdeid, seinakonstruktsioon on betoon 200mm, soojusisolatsioon 140mm, betoon 70mm. Muudetud on vahelagesid, kasutatud 200mm betoonplaati vahelaeks, et simulatsiooni tarkvara saaks tõlgendada avasid vahelagedes. Õige konstruktsiooniga jäi tarkvara hätta. Klaasifassadina on kasutatud projektis ettenähtud Saint-Gobaini süsteem. Simulatsioonis kasutatud piirete väärtused on toodud tabelis 16.

Tabel 15 Piirete väärtused.

Simulatsioonis kasutatud piirded		U väärtus W/(m ² K)	g arv
Välissein	Raudbetoon-vill-raudbetoon	0.18	
Keldri sein	Raudbetoon-vill-raudbetoon	0.25	
Põrand	Raudbetoon-soojustus	0.3	
Vahelagi	Raudbetoon-soojustus	0.15	
Klaasfassaad 1	Saint-Gobain Cool-Lite ST150	1.46	0.37
Klaasfassaad 2	Saint-Gobain Antelio Havana	1.19	0.21

Korrastati tarkvaras IDA ICE *building body* konttuur IFC impordist ei suutnud tarkvara seda igalpool õigest konstrueerida. IFC faili importidest tehti ka konstruktsioonitüüpide kaardistus, *mapping*, et tarkvara suudaks kohe alguses õigete piirete paksuste ning soojajuhituvusväärtustega opereerida.

Korrigeeritud valgustite paigutusi, mis kohati jäid väljapoole arvutustsoone.

3.3.2 Vabasoojusprofiilide kalibreerimine

Mudeli vabasoojuste kalibreerimiseks kasutati realselt mõõdetu elektrienergia tarbimisi.

Kalibreerimisel on kõrvale jäetud tehnosüsteemide energiatarve, kuna nende kohta puudusid piisavalt täpsed andmed, mis võimaldaks kalibreerida pidevalt töös olevaid süsteeme. Põhjuseks oli jahutusseadmete rikked. Seadmete rikked tulid välja suhtlusest hoone halduriga ning jahutusmasinate elektritarbimiste tunni tippude analüüsist.

Kuna töö eesmärk on üle viia olemasolev jahutussüsteem kaugjahutusele, siis olemasolevate tehnosüsteemide ja ka jahutussüsteemi täpne energiatarve kalibreerimine pole nii oluline. Tähtsam on hoones sees tarbitava elektrienergia kokku viimine reaalsega. Kuna antud hoones on hoonesiseste valgustite ning seadmete elektritarve on põhikomponent, mis mõjutab jahutussüsteemi võimsust. Ventilatsiooni seadmete jahutusvõimsused on lihtsasti arvatavad, kuna need on otseses seoses välisõhu temperatuuri ning niiskusega. Ruumi siseste jahutuskooormustega on natukese keerulisem, kuna need koosnevad peamiselt ruumis paiknevate valgustite, seadmete, inimeste ning päikesekiirguse soojuseraldustest. Antud hoone puhul, kaubandus pindade osas on päikesekiirguse komponent väiksem, kuna aknast tuleva päikesekiirguse osakaalud on väiksemad. Seega on oluline saada kalibreerituks just valgustuse ja seadmete soojaeraldused, sest need kaks on kontrollitavad ning ei muutu ajas oluliselt. Inimeste soojaeraldused on prognoositavad kui on teada külastatavuse ajalugu. Antud juhul neid andmeid polnud, seega kasutati energiatõhususe miinimumnõuete metoodika osas toodut.

Mudelis olev konditsioneeritav pindala on 30220m². Antud pindala on suurem kui EHR-is toodud, kuna hoone erinevad tasapinnad on mudelisse joonistatud kui korruse pind ning seejärel on näidatud ülemise ruumi põrandasse ja alumise ruumi lakke avad, mille kaudu temperatuurid saavad ühtlustuda. Tarkvara ei võimalda hästi sisestada ruume, mis läbivad mitut korrust. Antud hoones on aga väga suur osa avatud läbi mitme korruse. Seega avatud osa on tinglikult dubleeritud mitmes kohas. Antud dubleeringutega on arvestatud lisaks põrandasse tehtud avadele ka vabasoojuste määramisel.



Joonis 30 Kuvatõmmis hoone mudelis olevatest avadest seintes ja põrandates.

Hoone energiasimulatsioonist saadi valgustuse ning seadmete elektritarbimiseks 2557106 kWh aastas, mis on 111.27 kWh/(m² a). Hoone elektriarvestite põhjal saadud tarbimine oli 2584998 kWh aastas, mis on 112.48 kWh/(m² a). Antud tarbimisest on välja jäetud hoone välised tarbijad nagu näiteks välireklaamid, parkla valgustus ja seadmed, autopesula, mammograafia buss ning hoones paiknevad eritehnoloogiad, mis ei mõjuta ruumi soojaeraldusi.

Saadud erinevus 2021 aasta mõõdetud tarbimiste vahel on 1.1%.

Antud mõõdistusperioodi sisse jääb ka aeg mil keskus töötas osalise koormusega koroonapiirangute tõttu. Keskuse töö oli häiritud märtsis, aprillis ja mais. Kui arvutada piirangu väliste aegade keskmine kuu tarbimine ning sellest tuletada korrigeeritud aasta tarbimine, siis saaksime 2761656 kWh aastas, mis on 120.17 kWh/(m² a) ning selle erinevus mudeliga oleks 8%.

3.3.3 Sise- ja väliskliima

Jahutussüsteemi võimsuste dimensioneerimisel kasutati hoone asukohta linna täpsusega ning sünteetilist kliimafaili. Kus välistingimusteks on 27°C ja 50% suhtelist niiskust, öine temperatuur ei lange alla 20°C ning väljas on pilvitu selge ilm. Hoone jahutussüsteemi energiatarbe simulatsioonis kasutati ASHRAE IWEC2 Tartu kliimafaili.

Kütte ja jahutuse seadepunktid olid vastavalt 21°C ja 24°C.

4. TULEMUSED JA JÄRELDUSED

4.1 Kaugjahutussõlme võimsus temperatuurigraafiku tõstmise korral.

Jahutussüsteemi tarbitava võimsuse muutused on toodud tabelis 17. Kui jätta kogu hoones paiknev jaotussüsteem samaks, viies läbi ainult läbi muudatused ventilatsiooni külmavarustuses, et tagada kuivatusfunktsionaalsusega ventilatsiooniseadmete ettenähtud töö langeks jahutussüsteemi võimsus 2339kW-lt umbkaudu 1600kW-le.

Tabel 16 Jahutussüsteemi paigaldatud võimsuse muutus

	7/12 °C		8/18 °C		13/18 °C	
	kW	W/m ²	kW	W/m ²	kW	W/m ²
Ventilatsioon	1164	50.6	790	34.4	765	33.2
Fancoilid	955	41.5	600	26.1	500	21.8
Jahutustalad	220 ¹	9.6	220 ¹	9.6	220 ¹	9.6
Kokku	2339	101.8	1610	70.1	1483	64.5
Kokku üheaegsusega	2150	93.5				

¹ – temperatuuril 14/16 °C
Hoone pindala 22981.2 m²

Kui eelduseks on võimalikud väiksemahulised ümberehitustööd tuleks arvestada ventilatsiooni puhul, et säilitatakse jahutuskalorifeerides ettenähtud temperatuuride vahe 5°C, eriti kuna sissepuhke temperatuurid sellest oluliselt ei muutu. Fancoilide puhul tuleks arvestada temperatuuridega 8/18°C, sest võimsuste vahe 13/18°C temperatuurirežiimiga on 100kW. Jahutustalade võimsus säilib kõikides olukordades.

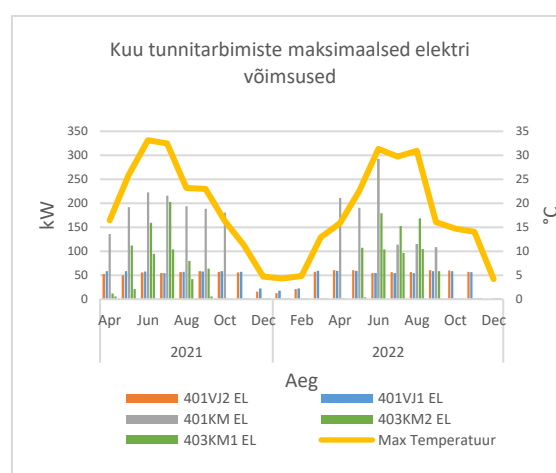
Kaugjahutussõlme võimsus antud andmete põhjal võiks olla 1600kW.

Kuigi kõigi eelduste kohaselt ventilatsiooniseadmete ning ruumis paiknevate jahutusseadmete tipukoormused ei esine samaaegselt siis jääks üheaegsuse arvelt tagavara, et vajadusel kriitilistes ruumides vahetada välja olemasolevaid fancoile võimsamate vastu. Soojusvahetite dimensioneerimisel üheaegsusega arvestada ei tohiks ning võimsused tuleks arvestada algse olukorra järgi, kuna kasutajapoolse tagasiside kohaselt oldi süsteemi tagatavate temperatuuridega üldiselt rahul.

4.2 Kaugjahutussõlme võimsus temperatuurigraafiku tõstmise ning elektritarbimise analüüsil baseerudes

Mõõtmiste tulemustest on näha, et süsteemi maksimumi lähedased väärtused on saavutatud üksikutel juhtudel vaadeldaval perioodil. Valdavalt on tiputarbimised siiski madalamad olnud ning kõigi külmamasinade tarbimise tipp ei toimu samaaegselt. Ventilatsiooni süsteeme teenindavate seadmete tipp on otseselt seotud välistemperatuuriga. Fancoile teenindava seadmel on lisaks olulised ka paljud muud aspektid, tulenevalt hoone inertsist ning lisaks asjaolust, et suurel osal hoonest pole päikese kiirgus põhiline jahutusvajaduse komponent vaid selleks on hoopis valgustus ning küllastajate arv. Seega kuigi 401KM on töötanud mõned tunnid tipu lähistel reeglina

sesta võimsust siiski tarvis pole olnud, kuna fancoilide töö üheaegsus on väiksem kui algset eeldatud siis võiks tarbimispõhise arvestuse põhjal 401KM aluseks võtta, graafikutelt välja joonistuva elektrivõimsuse - 230kW. Antud võimsus on ~70% seadme maksimum võimsusest, selle põhjal võiks sama suurusjärgus ruumi siseste jahutusseadmete üheaegsusega. Seega ruumisestest jahutusseadmete võimsuseks oleks ~800kW. Kui arvestada sama üheaegsusega ka fancoilide puhul, saame, et fancoilide võimsus tarbimisandmete järgi



Joonis 31 Kuu maksimaalsed elektri võimsused

võiks olla suurusjärgus 665kW ning seega jahutustalade võimsus arvestades üheaegsust võiks olla 135kW.

Tabel 17 Külmamasinade jahutusvõimsuse tunnitarbimiste tipud

Külmamasin	Jahutusvõimsus		Elektrivõimsus	Tunni tipp ¹
	kW	W/m ²	kW	kW
401KM Ruumi seadmed	1150	50	320	290
403KM1 Ventilatsioon	500	21,8	175	200
403KM2 Ventilatsioon	500	21,8	175	115 ²

¹ – Tunni elektritarbimise tipp perioodil 2021-2022a

² – Mõõdetud väärtusest on automaatselt maha arvestatud päikeseelektrijaama tunnitootlikus

Kuna ventilatsiooni seadmete jahutusvajadus on tarbimisandmete järgi täielikult kaetud saab eeldada, et soojusvahetite dimensioneerimisel tuleks arvestada ventilatsiooni puhul 1000kW võimsusega ning ruumisestest jahutusseadmete puhul ligikaudu 800kW. Tarbimisest tuletatud üheaegsus näitab samuti ka, et fancoilide jahutusvõimsuses tekkib puudjääk, mis on ligikaudu 65kW kui ventilatsiooniseadmetega suudetakse




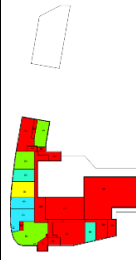
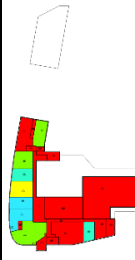






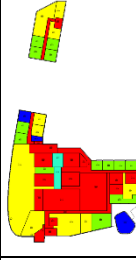



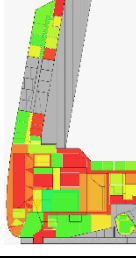
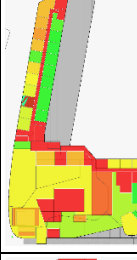
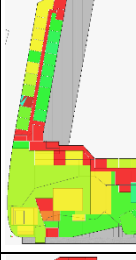


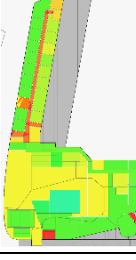
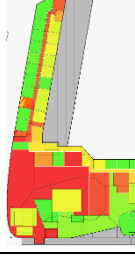

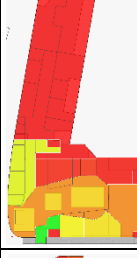
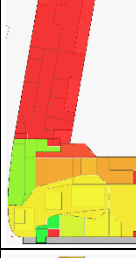


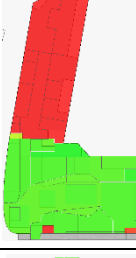
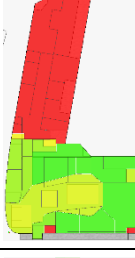
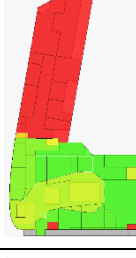
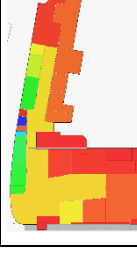
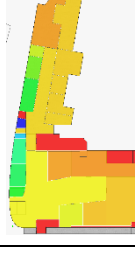


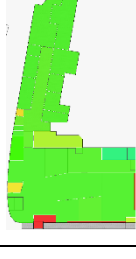
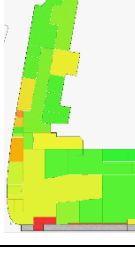
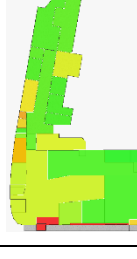
tagada sarnane sissepuhke temperatuur. Tarbimisandmetest on näha, et ventilatsiooni külmavajaduse tipud ning fancoilide külmaamasina 70% tarbimised tihtipeale ajaliselt kattuvad, seega võiks eeldada jahutussõlme vajalikuks võimsuseks 1800kW. Ventilatsioonisüsteemis suudetakse jahutustagastuse kasutamise korral tagad arvutuste järgi keskmiselt ~1 °C kõrgemad temperatuurid kui on projektis ettenähtud, seega võiks, kokkuleppel hoone haldajaga, arvestada ka jahutussõlme võimsusega 1600kW, kuna 13/18°C graafikuga oleks ventilatsiooni vajalik jahutusvõimsus 765kW. Hiljem kui jahutusvõimsust ei jätku ning esineb kasutaja poolseid pretensioone on võimalik rakendada tootearendusest tuntud *MVP* ehk *minimum viable product* lähenemist. Kus lastakse välja toode, millel on nii minimaalne funktsionaalsus kui vähegi võimalik ning millele kasutajate tagasiside põhjal hakatakse lisame funktsioone. Antud juhul on kõik tingimused selleks täidetud. Hoones on olemas jahutusfunktsionaalsus, mis ei pruugi tagada alati kõikides ruumides soovitud temperatuure, samas on olemas torusüsteem, mis kindlasti suudab tagada vajalikud vooluhulgad, millega saaks tagada soovitud temperatuurid. Kuna võrreldes algse olukorraga on külmakandja vooluhulgad vähenenud kaks korda, sest külmakandja temperatuuri vahe on tõusnud viielt kraadilt kümnele. Et rakendada nn. MVP meetodit peavad jahutussõlme soojusvahetid olema dimensioneeritud algse projekteeritud võimsuse järgi. Kuna hooneni on külmatrassi torustik toodud, siis võrguga liitumisel peaks arvestama minimaalse eeldusliku süsteemi võimsusega, et vältida jahutusteenuse pakkujale võimalikke tuluvoo ülehindamisest tulenevaid kahjusid. [2, lk 27] Kuna torustik on juba paigaldatud siis võimalikul võimsuse alahindamisel puudub mõju süsteemile.

Kui need sammud on tehtud siis on olukord selline, et enamuse ajast suudab jahutussüsteem soovitud sisekliima tagada ning järgnevate kasutusaaste jooksul hakkab selguma millistel aladel soovitud temperatuur pole tagatud. Pindadel, kus temperatuur pole tagatud, aga tuleb tagada, hakatakse rakendama parendusmeetmeid. Esmalt viiakse ruumisoojaeraldused võimalikult madalaks, selleks vahetatakse välja olemas olevad valgustid ning võimalikud amortiseerunud tehnoseadmed efektiivsemate vastu. Kui probleem püsib hakatakse lisama või välja vahetama olemasolevaid jahutusseadmeid võimsamate vastu kuni soovitud temperatuur on tagatud. Saavutades selliselt soovitud sisekliima kõige väiksemate energijooksevkuludega. See meetod on rakendatav, kuna energia transpordiks ettenähtud olemasolevas torustikus ning sõlmes on ressurss olemas. Kui tipukoormusi ületatakse piisavalt palju ning tarbimine on suurem kui esmalt prognoositud tuleb jahutusteenuse pakkujaga sõlmida uued vastavad kokkulepped. See peaks jahutusteenuse pakkujale sobima, kuna baseerub reaalsel kogemusel ning ei põhjusta liigset tuluvoo ülehindamist.

4.3 Kaugjahutussõlme võimsus simulatsioonil baseerudes

Tabelis 18 on toodud simulatsiooni tulemused värvikoodide järgi. Esimeses kahes veerus on esitatud dimensioneeritud võimsused tagamaks jahutatud ruumides 24°C. Seejärel on toodud paigaldatud võimsused 7/12°C ja 8/18°C juures ning lõpus on toodud temperatuuri graafiku muutmise mõju ruumitemperatuurile.

Tabel 19 Simulatsiooni tulemused

W/ m ²	7/12°C võimsus dim.	8/18°C võimsus dim.	7/12°C Paigaldatu d	8/18°C Paigaldatu d	°C	7/12 Ruumi temp.	8/18 Ruumi temp.	8/18 13/18 Ruumi temp.	Korru s
									VI K
									V K
									IV K
									II K
									I K

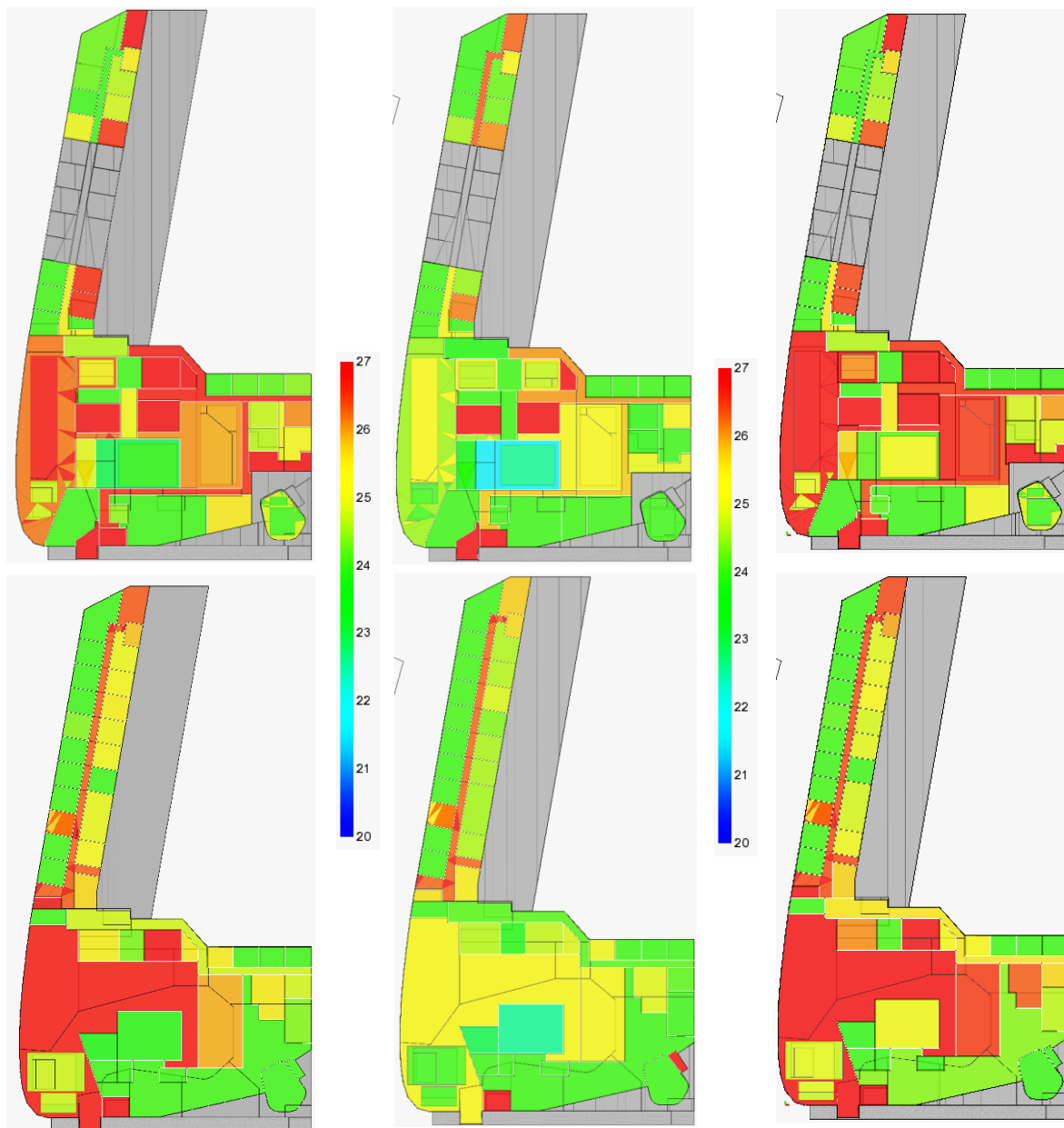
Büroo osas ei muudeta ruumis paiknevate jahutusseadmete temperatuurigraafikut. seetõttu büroo alades olulist temperatuuri tõusu ei esine.

Allpool oleval joonisel 48 on suuremalt välja toodud koondtabelistes temperatuuri jaotiste kaks kõige kriitilisemat korrust ning piirkonda. Kõige problemaatilisemaks kohaks osutus kinode ala ning suur konverentsi saal. Antud ruumides ei kasutata fancoile ega muid jahutusseadmeid vaid jahutatakse ruumi ventilatsiooni õhuga. Tabelis on toodud antud alade sissepuhke õhu temperatuuri muutused. Kino osas tõuseb temperatuur sissepuhkel 8/18°C graafikuga 3°C ning konverentsi osas 2 °C. Pildi järgi hinnates on ka ruumitemperatuuri tõus samas suurusjärgus võrreldes varasemaga. 13/18°C graafikuga on sissepuhke õhu temperatuuritõus 1°C ning tänu sellele on ka temperatuurid mõnevõrra madalamad.

8/18°C; 13/18°C

7/12°C

8/18°C

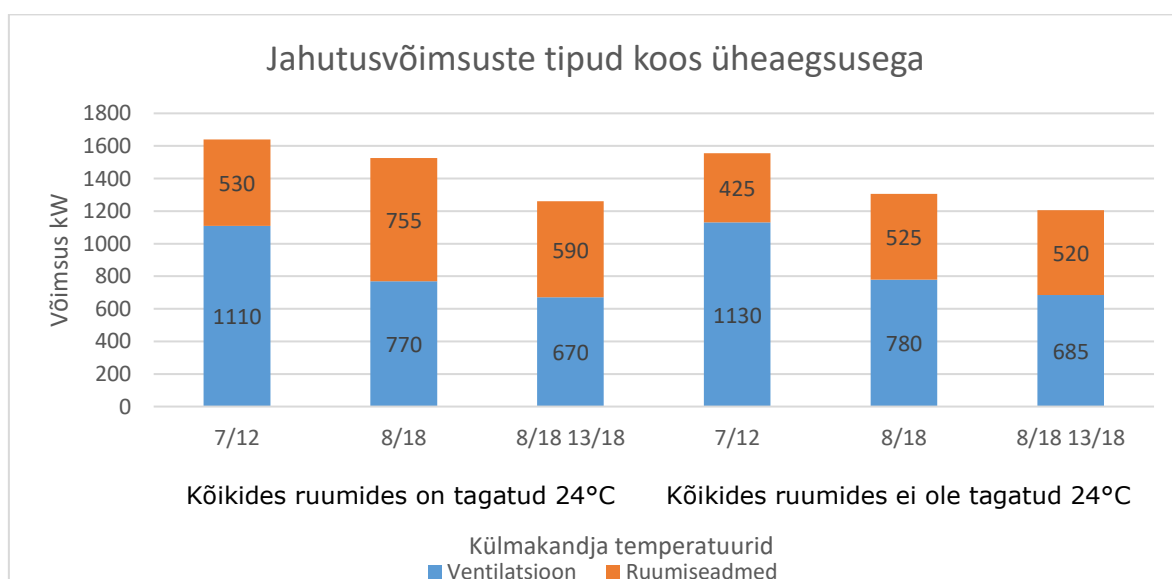


Joonis 32 Ruumitemperatuurid

Piltidel kujutatud olukorra parandamiseks sellise tasemeni, et saavutada 7/12 temperatuurigraafiku järgne olukord, tuleks antud piirkonnas olemasolevad fancoilid välja vahetada aste suuremate vastu ning konverentsisaali ja kinosaale teenindavate seadmete jahutuskalorifeerid vahetada välja, suuremate vastu, mis suudaks tagada projektijärgsed sissepuhke temperatuurid. Kui soovida disainitingimustel tagada ruumides 24C tuleks kummalegi korrusele lisada 35kW jagu jahutusvõimsust, kokku 70kW.

Joonisel 43 on esitatud jahutussõlme tipuvõimsused disainparameetritel arvestades üheaegsusi. Süsteemi minimaalne võimsus oleks saavutatav kui kasutada ventilatsioonisüsteemis külmakandja temperatuurirežiimi 13/18°C ning fancoilidel külmakandja temperatuurirežiimi 8/18°C. Sellisel juhul oleks kogu jahutussüsteemi võimsus 1300kW, mis on ligikaudu 265kW vähem kui ventilatsioonisüsteemis kasutada temperatuurirežiimi 8/18°C. Kokkuhoid tuleks varjatud soojuse arvelt ning ventilatsiooni kalorifeeride paremast soojusülekandest. Graafikul 13/18°C on vedeliku vooluhulk kalorifeeris kaks korda suurem ning tänu sellele toimub ülekanne efektiivsemalt. Tootja tarkvara arvutused näitavad, et sellistel tingimustel suudetakse tagada madalamad sissepuhke temperatuurid, vaatamata sellele, et pealevoolu temperatuur on oluliselt kõrgem. Kõrgema külmakandja temperatuuriga toimuks ventilatsioonisüsteemide kalorifeerides oluliselt vähem kondenseerumist, mistõttu ruumiõhu niiskustase kasvaks. Antud ventilatsioonisüsteemide teenindus piirkonnas on kasutuses aga ruumisisesed jahutuselemendid, mis on varustatud kondensaadi äravooluga. Seega niiskustaseme tõus ei tohiks probleeme tekitada.

Joonis 33 Jahutusvõimsuste tipud



Tabelites 20 ja 21 on toodud joonisel 43 esitatud jahutusvõimsuste kaalutud tipud summeeritult.

Tabel 19 Jahutussõlme tippvõimsus üheaegsusega. 24°C kõigis ruumides tagatud

	7/12		8/18		8/18 13/18	
	kW	W/m ²	kW	W/m ²	kW	W/m ²
Võimsus	1640	71.4	1525	66,4	1260	54,8

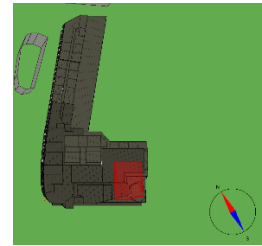
Tabel 20 Jahutussõlme tippvõimsus üheaegsusega. 24°C pole kõigis ruumides tagatud

	7/12		8/18		8/18 13/18	
	kW	W/m ²	kW	W/m ²	kW	W/m ²
Võimsus	1555	67.7	1305	56,8	1205	52,4

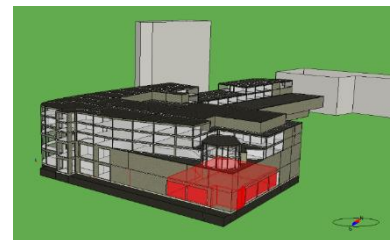
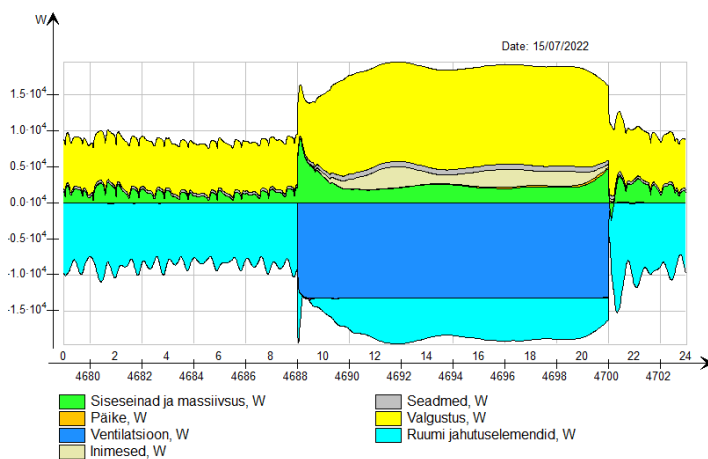
Arvestades simulatsioonide tulemusi saaks minimaalne jahutussõlme võimsus olla 1300kW. Soojusvahetid peaksid olema dimensioneeritud aga vastavalt teenindatava süsteemi osa maksimaalsetele võimsustele, kuna erinevate süsteemiosade tipukoormused leiavad aset erineval ajal ning need ei katu kogu süsteemi tipukoormusega. Sel hetkel kui ventilatsioon on vajalik maksimaalne jahutusvajadus ei ole sama hetk mil on ka ruumiseadmete maksimaalne jahutusvajadus ning see pole ka sama hetk, mil on kogu hoone jahutusvajaduse tipp. Lisaks tuleks ruumiseadmete soojusvaheti puhul arvestada ka reserviga, et vajadusel saaks süsteemi jahutusseadmeid lisada, ilma, et tekkiks vajadus soojusvaheti vahetuseks.

4.4 Tüüpruumide energiabilanss

Järgnevalt on toodud tüüpruumide energiabilansid. Allpool oleva energiabilansi graafikul on näidatud kaubanduspinna energia jaotis. Kaubandus pind positsioneerub ilmakaarte suhte selliselt, et hoone alumine nurk on suunaga lõunasse. Kahte külge jäävad aknad, aga antud aknad on seestpoolt kinni ehitatud ning neid kasutatakse reklaamvitriinidena. Seega päikese energia osakaal puudub. Põhilised soojaeraldused on valgustusest. Antud olukord, kus päikese osakaal on väike ning põhiline on valgustuse osakaal ilmestab hästi enamikku müügiplindasid.



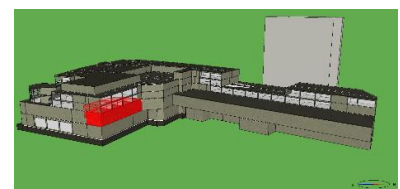
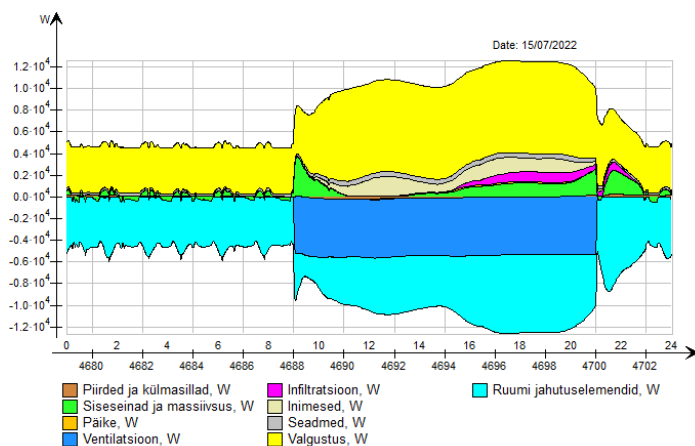
Joonis 35 Paiknemine



Joonis 34 Ruumi paiknemine

Joonis 36 Energiabilanss

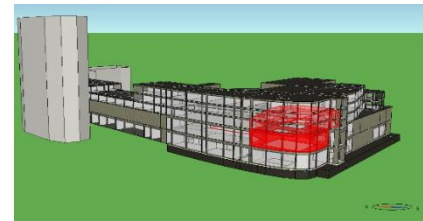
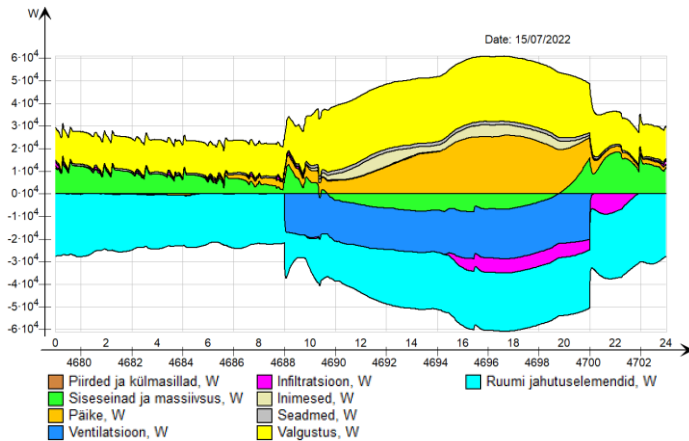
Joonisel 35 on toodud kirdesuunalise müügiplindas bilanss, sellel hoone küljel olevatel müügiplindadel puuduvad akna täielikult ning seetõttu ka päikesekoormuse energiabilansis.



Joonis 37 Ruumi paiknemine

Joonis 38 Energiabilanss

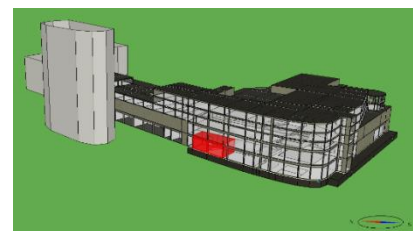
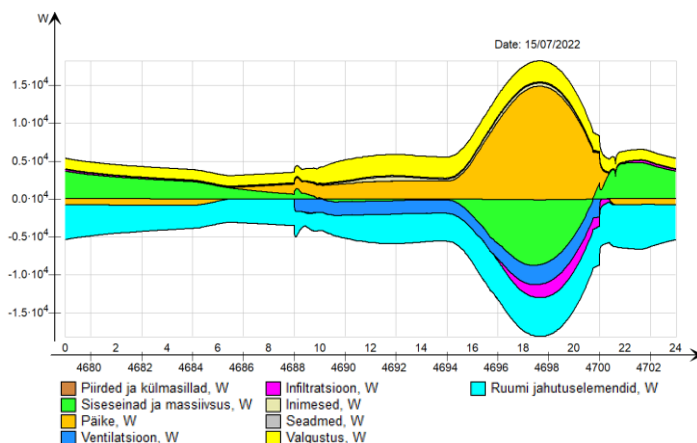
Aatriumi osas on olukord mõnevõrra erinev müügpindade omast. Kuna seal on suur osa aknapinnast avatud, siis on ka päikese osakaal energiabilansis märgatav. Päikese osakaal on samas suurusjärgus valgustusega. Antud ala jahutust kompenseerivad suures osas ka külgnevad pinnad mis avatud aatriumi. Lisaks on aatrium avatud läbi mitme korruse.



Joonis 39 Ruumi paiknemine

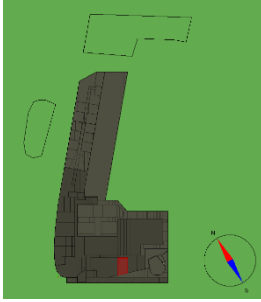
Joonis 40 Energiabilanss

Loode fassaadil on olukord natuke teine, kuna seal on pisemaid müügpindasid, mis ei kasuta aknaid vitriinidena, seal tuleb lisaks valgustusele ka arvestatav osa vabasoojust päikesest. Väikestel müügpindadel, millel on suur akende osakaal ning mida ei kasutata vitriinidena, on ka päikesekoormus väga kõrge. Antud ruumide puhul ületab see oluliselt valgustust, mis on muidu valdava osas müügpindade põhikomponent jahutusvajaduses.



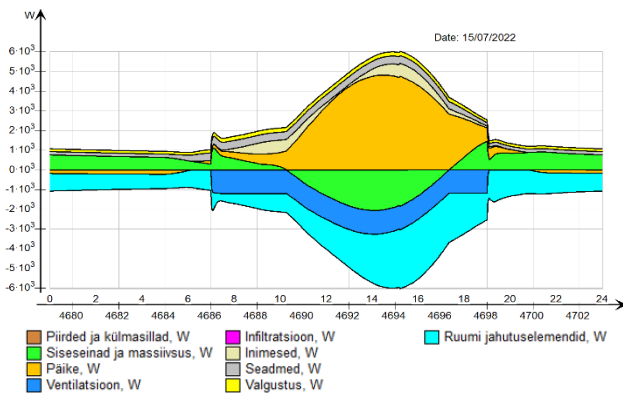
Joonis 41 Ruumi paiknemine

Joonis 42 Energiabilanss

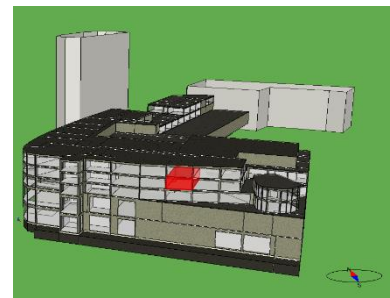


Joonis 43
Paiknemine

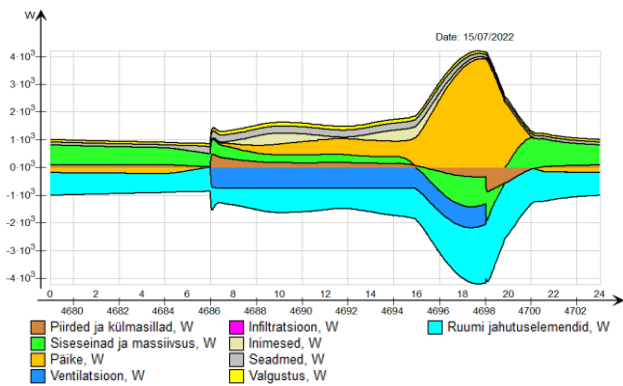
Kontoripindadel on vabasoojuste bilanss tunduvalt erinev müügipindade omast. Põhilise osa moodustab päike seejärel inimesed, seadmed ning viimasena valgustus. Seda seetõttu, et kõikidel kontoripindadel on suur akende osakaal. Sõltuvalt akende paiknemise ilmakaareest jaotub ka päiksest tulenev soojuskoormus erinevatele kellaaegadele. Energiabilansi kellajalised jaotused on toodud allpool olevatel joonistel. Erinevused on fassaaditi on märgatavad ning antud jahutuskoormuse võimsuse jaotust ajalises mastaabis tuleb arvesse võtta jahutuskoormuse üheaegsusena jahutussõlme dimensioneerimisel.



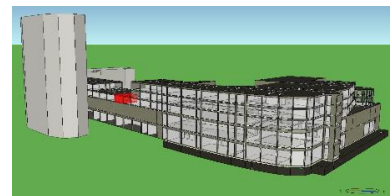
Joonis 45 Energiabilanss



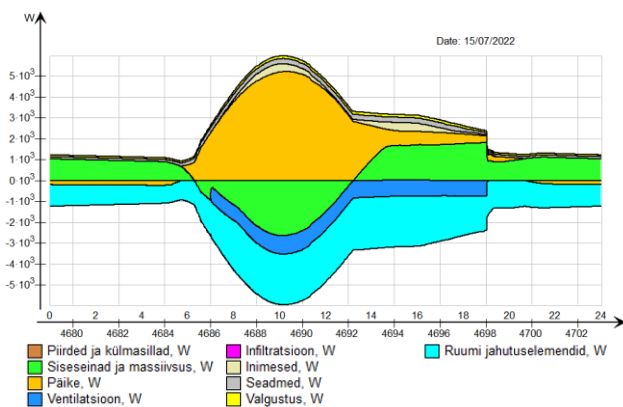
Joonis 44 Ruumi paiknemine



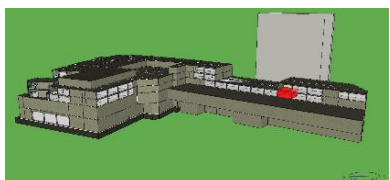
Joonis 47 Energiabilanss



Joonis 46 Ruumi paiknemine



Joonis 48 Energiabilanss



Joonis 49 Ruumi paiknemine

4.5 Jahutussüsteemi energiatarve

Tabelis 22 on toodud simulatsioonide järgne jahutussüsteemide energia tarve. Tabelist on näha, et mida kõrgem on külmakandja temperatuur, seda väiksem on jahutussüsteemi energiatarve.

Kokkuhoid tuleb varjatud soojusearvelt, mistõttu ruumiõhu niiskussisaldus kasvab. See on oluline aspekt, millele tuleb eraldi tähelepanu pöörata kui hoones on kondensaadi vabasid jahutussüsteeme.

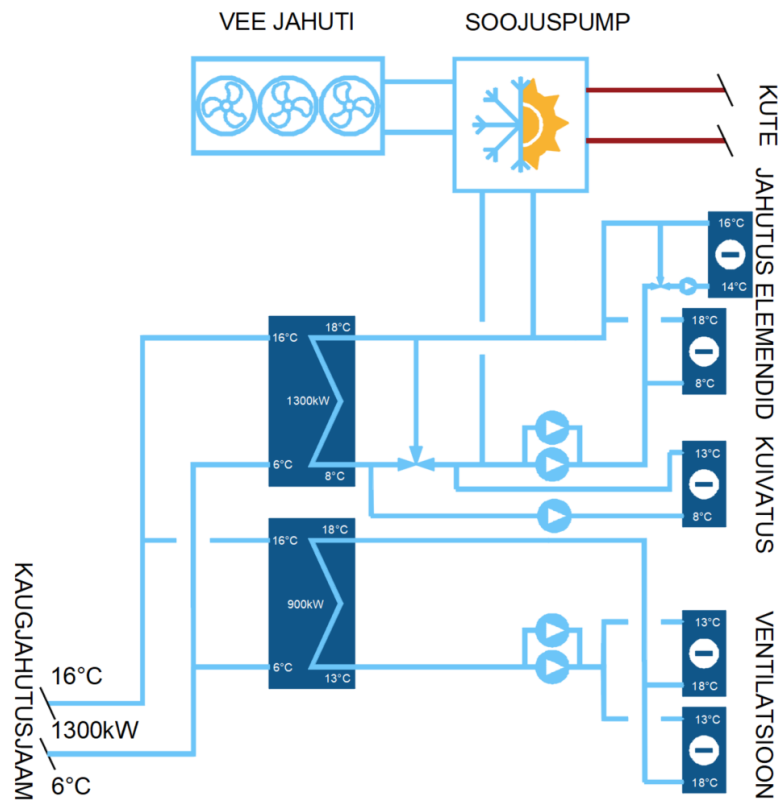
Kuna kõrgema külmakandja temperatuurirežiimiga kondenseeritakse ventilatsiooni süsteemis vähem vett õhust välja siis kasvab fancoilide energiatarve. Ühelt poolt varjatud soojuse arvelt, teiselt poolt on oluliseks mõjutajaks ka ventilatsioonisüsteemi kõrgem sissepuhke temperatuur. Mistõttu fancoilid peavad kauem töötamine ning suurema võimsusega. Koondplaanis on aga temperatuurigraafiku tõstmise mõju energiatarbele märgatav. Simulatsioonide järgi väheneb jahutuse energiatarve ligikaudu 100 000kWh võrra aastas.

Tabel 21 Jahutussüsteemide energiatarve

Kuu	Ruumid	Vent	Ruumid	Vent	Ruumid	Vent
	7/12	7/12	8/18	8/18	8/18	13/18
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	2.4	0.0	2.4	0.0	2.3	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	115.9	38.0	378.1	34.1	236.8	33.3
4	849.3	2774.0	5375.0	1062.0	3806.0	1018.0
5	12835.0	44307.0	37549.0	22899.0	33221.0	22375.0
6	23621.0	61938.0	56852.0	25895.0	52324.0	25939.0
7	37683.0	141689.0	76466.0	63603.0	72631.0	60024.0
8	28477.0	142334.0	64739.0	67922.0	60981.0	59897.0
9	3482.0	19761.0	15295.0	6765.0	12386.0	6389.0
10	194.6	0.0	591.9	0.0	425.7	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.3	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0
Kokku	107260.5	412841.1	257248.7	188180.2	236014.1	175675.3
Kokku	520101.6 kWh		445428.9 kWh		411689.4kWh	
	22.6kWh/m ²		19.4kWh/m ²		17.9kWh/m ²	

4.6 Jahutussüsteemi põhimõtteline skeem

Hoone kaugjahutus sõlme põhimõtteline skeem on esitatud joonisel 50. Kasutuses on mitu soojusvahetit, kuna hoone jahutuskormuste tagamiseks pole piisava suurusega ühte soojusvahetit. Skeemil on näidatud ka segamissõlm, mis on vajalik et tagada kuivatusega süsteemidele piisavalt madal temperatuur, segades jahutusvõrku piisavalt kõrge tagasivoolu temperatuuri. Soovi korral on võimalik süsteemiga liita ka soojuspump. Soojuspumba süsteemi liitmiseks teeb võimalikus veejahuti olemasolu. Veejahuti võimaldab ära anda soojuspumba toodetud soojust keskkonda, kui hoone ei suuda toodetud soojust vastu võtta. Veejahuti tööd vabajahutusrežiimis juhiks samuti soojuspump. Soojusvahetid on dimensioneeritud vastavalt teenindatava süsteemi osa maksimaalsetele võimsustele. Soojusvahetite võimsuste summa ei võrdu terve hoone jahutusvajadusega kuna terve hoone jahutusvajadus arvestab koormuste üheaegsusega, sest erinevate süsteemiosade tipukoormused leiavad aset erineval ajal ning need ei kattu kogu süsteemi tipukoormusega. Sel hetkel kui ventilatsioonis on vajalik maksimaalne jahutusvajadus ei ole sama hetk mil on ka ruumiseadmete maksimaalne jahutusvajadus ning see pole ka sama hetk, mil on kogu hoone jahutusvajaduse tipp. Lisaks on ruumiseadmete soojusvaheti puhul arvestada ka reserviga, et vajadusel saaks süsteemi jahutusseadmeid lisada, ilma, et tekkiks vajadus soojusvaheti vahetuseks.



Joonis 50 Kaugjahutuse põhimõtteline skeem

KOKKUVÕTE

Antud lõputöö eesmärgiks oli analüüsida ärikeskuse olemasoleva jahutussüsteemi potentsiaali üleminekuks kaugjahutusele ning kaugjahutusele ülemineku mõju ärikeskuse energia tarbele. Lisaks koostada ärikeskuse külmavarustuse põhimõtteline skeem ning kirjeldada vajalikud tegevused üleminekuks kaugjahutusele.

Käesoleva töö tulemusel leiti, et olemasolevat jahutussüsteemi on võimalik üle viia kaugjahutusele. Kõrgema temperatuurigraafiku kasutusele võtt on teostatav ilma olemasolevat jahutuse jaotussüsteemi oluliselt muutmata. Võimenduvad probleemsed kohad kuid seda vähesel määral ning tekkivad puudused on võrdlemisi lihtsasti kõrvaldatavad. Kõrgema temperatuurigraafikuga tuleb ka mõningane kokkuhoid energiatarbes, peamiselt varjatud soojuse arvelt, mistõttu aga ruumiõhu niiskussisaldus kasvab.

Simulatsioonidega on tuvastatud kriitilised piirkonnad hoones, kus võib eeldada probleeme temperatuuriga. Tänu simulatsioonidele on võimalik nende piirkondadega ennetavalt tegeleda – jahutussõlme ehitamisel vahetada välja ka antud piirkondade fancoilid võimsamate vastu.

Ventilatsiooni jahutuskalorifeeride külmakandja temperatuuride vahe säilitamisel on arvestatav mõju sissepuhke temperatuurile. Üllatuslikult on kõrgema temperatuurigraafiku kuid väiksema temperatuuride vahel võimalik tagada madalam sissepuhke temperatuur. Mille tulemusel küll ruumiõhu niiskussisaldus kasvab, aga kui on kasutuses kondensaadi äravooluga seadmed on see aktsepteeritav, sest tänu sellele tagatakse mõnevõrra parem soojuslik mugavus ning samas väheneb ümberehitustööde maht, kuna ei pea välja vahetama ventilatsiooniseadmete jahutuskalorifeeride ventiile. Kondensaadivabades süsteemides, kus on vaja kuivatust tuleb erilist tähelepanu pöörata ventilatsioonile. Jahutussõlm peab olema varustatud segamis funktsionaalsusega, et alati oleks tagatud ettenähtud külmakandja tagasivoolutemperatuur. Vastasel juhul vähendatakse külma tootja poolt külmakandja pealevoolu hulka, mistõttu tõuseb külmakandja pealevoolu temperatuur ning kuivatusega süsteemides ei pruugi olla võimalik tagada ettenähtud kuivatusefunktsionaalsust.

Jahutussõlme kavandamisel tuleks arvestada olemasolevate süsteemide jaotusega ning arvestada, et piisavalt suure süsteemi korral võib olla vajadus mitme soojusvaheti järele. Lisaks on oluline tähelepanek, et soojusvahetite koguvõimsus reeglina ei ole külmasõlme liitumisvõimsus. Sõltuvalt hoonest võib jahutuse üheaegsus varieeruda märgatavalt. See võib olla võrdlemisi madal aga ka võrdlemisi kõrge.

ABSTRACT

The aim of this thesis was to analyze the potential of the existing cooling system in a business center to transition to district cooling, as well as the impact of this transition on the energy consumption of the business center. In addition, a schematic of the business center's cold supply was to be created, and the necessary actions to transition to district cooling were to be described.

As a result of this work, it was found that the existing cooling system can be transitioned to district cooling. The use of a higher temperature graph is feasible without significantly altering the existing distribution system. Problematic areas are amplified, but to a small extent, and any resulting deficiencies are relatively easy to rectify. The use of a higher temperature graph also results in some energy savings, primarily due to the latent heat, but this increases the humidity of the air in the room.

Critical areas in the building where temperature problems can be expected have been identified through simulations. Thanks to these simulations, it is possible to proactively address these areas by replacing the existing fan coils in these areas with more powerful ones when building the district cooling energy transfer station (ETS).

Maintaining the temperature difference between the cooling agent in the ventilation cooling coils has a considerable impact on the supply air temperatures. Surprisingly, a lower supply air temperature can be achieved with a higher temperature graph, but with smaller temperature differences. As a result, the humidity of the room air will increase, but if room cooling devices with condensate drainage are used, this is acceptable, as it provides better thermal comfort while reducing the amount of reconstruction work required since the valves in the ventilation devices cooling coils do not need to be replaced.

In condensate-free systems that require drying of the ventilation air, special attention must be paid to ventilation cooling coils. The cooling energy transfer station must be equipped with functionality to ensure that the designated return temperature of the cooling agent is always maintained. Otherwise, the flow rate of the cooling agent supplied by the cold producer will be reduced, causing the inlet temperature of the cooling agent to rise, and it may not be possible to ensure the designated drying functionality in the ventilation systems cooling coils with drying functionality.

When designing the cooling energy transfer station, the distribution layout of existing systems should be considered, and it should be noted that for sufficiently large systems, there may be a need for multiple heat exchangers. Additionally, it is important to note that the total capacity of the heat exchangers will not always match the cooling energy transfer station connection capacity. Depending on the building, the simultaneity of cooling may differ a lot. It can be relatively low, but it can also be high.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Tallinna Tehnikaülikool, „Hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia“. Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium, 2020.
- [2] A. A. Olama, *District cooling: theory and practice*. Heat transfer : a series of reference books and textbooks. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017.
- [3] Euroheat, „Tartu: the first district cooling solution in the Baltics“. <https://www.euroheat.org/resource/tartu--the-first-district-cooling-solution-in-the-baltics.html> (vaadatud 29. märts 2023).
- [4] S. Werner, „District Heating and Cooling“, *Encyclopedia of Energy*, C. J. Cleveland, Toim, New York: Elsevier, 2004, lk 841–848. doi: 10.1016/B0-12-176480-X/00214-X.
- [5] J. Laaneste, „U03 õppehoone rekonstrueerimislahendused lähtuvalt olemasolevatest kütte ja jahutussüsteemidest“, TalTech, Tallinn, 2021.
- [6] P. A. Østergaard *et al.*, „The four generations of district cooling - A categorization of the development in district cooling from origin to future prospect“, *Energy*, kd 253, lk 124098, aug 2022, doi: 10.1016/j.energy.2022.124098.
- [7] H. Lund *et al.*, „Perspectives on fourth and fifth generation district heating“, *Energy*, kd 227, lk 120520, juuli 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.120520.
- [8] D. P. Fiorino, „Achieving High Chilled-Water Delta Ts“, *ASHRAE J.*, lk 24–30, nov 1999.
- [9] *Hoone sisekliimale esitatavad nõuded*. 2021. [Online]. Available at: <https://eelnoud.valitsus.ee/main#XDmCqu79>
- [10] T.-A. Kõiv ja A. Rant, *Hoonete küte*. TTÜ Kirjastus, 2013.
- [11] E. Abel ja H. Voll, *Hoonete energiatarve ja sisekliima*. OÜ Presshouse, 2014.
- [12] R. Albri, *Külmatehnika 1. osa*. Tallinn: TalTech Eesti mereakadeemia, 2019.
- [13] „Kaugjahutus“, *Jätkusuutliku kaugkütte digiõpik*, Märts 2023. <https://kaugkute.taltech.ee/kaugjahutus/>
- [14] K. Lepiksaar, S. Soosaar, ja S. Prausen, „Energiatehnoloogia Instituut“.
- [15] „Tõhus kaugküte ja -jahutus – EJKÜ“. <https://epha.ee/tohus-energia/> (vaadatud 27. märts 2023).
- [16] „Ehitusregister“, Märts 2023. <https://livekluster.ehr.ee/ui/ehr/v1/building/120233498>
- [17] „Pilt. Google streetview“. <https://www.google.com/maps/@58.37771,26.7287537,3a,75y,76.34h,79.35t/data=!3m6!1e1!3m4!1s527ZJLve4vDxfEjTEhRouQ!2e0!7i13312!8i6656>
- [18] „Emajõe Ärikeskuse 3. etappi VKKVJ projekt. Töö nr 001-05“. Pakrum OÜ, 2007.
- [19] T.-A. Kõiv, *Õhu konditsioneerimine 1*. TTÜ Kirjastus, 2006.
- [20] „Hoone energiatarvete arvutamise meetodika–Riigi Teataja“. <https://www.riigiteataja.ee/akt/118012019012?leiaKehtiv> (vaadatud 4. aprill 2023).
- [21] „Ehitusregister“. <https://livekluster.ehr.ee/ui/ehr/v1/building/120672498> (vaadatud 4. aprill 2023).
- [22] „Ehitusregister“. <https://livekluster.ehr.ee/ui/ehr/v1/building/104042868> (vaadatud 4. aprill 2023).