



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

***TalTechi linnaku õppehoone SOC
energiatarbimise detailne analüüs ja
säästupotentsiaali hindamine***

**Detailed analysis of energy consumption and
evaluation of the savings potential of TalTech campus
building SOC**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kristina Karpov

Üliõpilaskood 165153EAKI

Juhendajad: Helena Kuivjõgi, doktorant
Martin Thalfeldt, abiprofessor

(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.

“16” mai 2022

Autor: Kristina Karpov

/ allkirjastatud digitaalselt/

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“16” mai 2022

Juhendaja: Helena Kuivjõgi

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

“.....”.....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina Kristina Karpov (sünnikuupäev:13.05.1997)

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

TalTechi linnaku õppehoone SOC energiatarbimise detailne analüüs ja säästupotentsiaali hindamine,

mille juhendajad on

Helena Kuivjõgi ja Martin Thalfeldt,

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

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

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

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

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

/Allkirjastatud digitaalselt/

16.05.2022

TalTech Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kristina Karpov, 165153EAKI

Õppekava, peeriala: EAKI02/15, Hoonete sisekliima ja veetehnika, Küte ja ventilatsioon

Juhendaja(d): doktorant Helena Kuivjõgi +372 5358 5107;
abiprofessor, Martin Thalfeldt, 6202505

Lõputöö teema:

(eesti keeles) TalTechi linnaku õppehoone SOC energiatarbimise detailne analüüs ja säästupotentsiaali hindamine

(inglise keeles) Detailed analysis of energy consumption and evaluation of the savings potential of TalTech campus building SOC

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Analüüsida ja võrrelda õppehoone tegelikku ja arvutusliku energiatarbimist
2. Koostada tegeliku energiatarbimise detailne aastane bilanss
3. Pakkuda välja õppehoone energiasäästu võimalusi

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaate koostamine.	07.02.
2.	Hoone mudeli koostamine simulatsioonitarkvaras IDA-ICE.	09.02
3.	Teostada loodud mudelile energiatarbimise arvutus põhinedes energiatõhususe määrustes toodud vabasoojustel ja hoone kasutusprofiilidel.	19.03
4.	Analüüsida hoone tegelikku energiatarbimist, projektdokumentatsiooni ja hooneautomaatikat.	20.03
5.	Vastavalt pt 4 saadud tulemustele teostada energiatarbimise arvutus tegelike vabasoojuste ja hoone kasutusprofiilidega.	14.03
6.	Modelleeritud ja mõõdetud energiatarbimiste üksteisele vastavuse analüüs.	10.04
7.	Analüüsida ja pakkuda välja hoone energiasäästu võimalusi ja nende mõju hoone energiatõhususele	13.04
8.	Töö tulemuste süstematiseerimine ja selle ülevaatlikuks esitamiseks jooniste ning tabelite tegemine.	08.05
9.	Lõputöö kokkukirjutamine	11.05

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: 16.05.2022a

Üliõpilane: Kristina Karpov allkirjastatud digitaalselt "16"mai 2022a
/allkiri/

Juhendajad: Helena Kuivjõgi allkirjastatud digitaalselt "16"mai 2022a
/allkiri/

Martin Thalfeldt allkirjastatud digitaalselt "16"mai 2022a
/allkiri/

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

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

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA.....	8
SISSEJUHATUS	9
KIRJANDUSE ÜLEVAADE	10
1 ENERGIATÕHUSUS.....	12
1.1 Energiatõhususe miinimumnõuded.....	12
1.2 Energiatõhususarv.....	14
1.3 Arvutusmetoodika ja tegelik kasutus.....	15
1.4 Kasutusprofiil.....	16
2 HOONE ÜLEVAATUS.....	18
2.1 Õppehoone üldandmed.....	18
2.2 Hoone kirjeldus.....	19
2.3 SOC õppehoone tehnosüsteemid.....	20
2.3.1 Soojussõlm.....	20
2.3.2 Küte.....	21
2.3.3 Ventilatsioon.....	21
2.3.4 Jahutus.....	24
3 METOODIKA.....	25
3.1 Simulatsioonimudel.....	33
3.2 Simulatsioonimudeli koostamine ja kalibreerimine.....	33
3.2.1 Ventilatsiooni kalibreerimine mudelis.....	35
3.2.2 Vabasoojuste kalibreerimine mudelis.....	37
3.2.3 Kütte kalibreerimine mudelis.....	37
4 TULEMUSED	39
4.1 Tarbimisandmed.....	39
4.1.1 Soojustarbimine.....	39
4.1.2 Elektritarbimine.....	41
4.1.3 Baastarbimine.....	41
4.2 Simulatsioonitulemused ja analüüsid.....	42
4.2.1 Määruse andmetega mudel.....	42

4.2.2 Tegelike andmetega mudel.....	44
4.2.3 Kokkuhoiu meetmed.....	45
5 JÄRELDUSED.....	51
KOKKUVÕTE.....	53
SUMMARY.....	55
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	57

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema on valitud aktuaalsusest ning isiklikust huvist. Lõputöö teema pakkus välja TalTechi Hoonete sisekliima ja veetehnika programmijuht Martin Thalfeldt. Magistritöö põhilised andmed on saadud mõõtmistulemustest, hoone automaatikast ning hoone põhiprojektist.

Autor avaldab tänu lõputöö valmimisele kaasa aidanud Helena Kuivjõe, Martin Thalfeldtile.

energiatõhusus, soojustarbimine, elektritarbimine, magistritöö

SISSEJUHATUS

Ehitussektorit võib pidada üheks peamiseks materjali- ning energiatarbijaks maailmas ja Eestis. REKK 2030 seab Eesti eesmärgiks aastaks 2030 kavandatud energiasäästu meetmete toel hoida energia lõpptarbimist praegusel tasemel (32-33 TWh/a) ning vähendada primaarenergia tarbimist kuni 14%. Selle eesmärgi saavutamiseks on ette nähtud hoonete rekonstrueerimine. Hoonete rekonstrueerimise pikaajalise strateegia alusel olemasoleva hoonefondi kulutõhus rekonstrueerimine liginullenergiahooneteks toimub aastaks 2050. Eesti hoonete energiatõhususe regulatsioonis vastab olulise rekonstrueerimise kuluoptimaalne energiatõhususe tase energiamärgise klassile C. Sellega vähendatakse hoonefondi CO₂-heidet. [1]

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on analüüsida ja võrrelda TalTechi linnaku õppehoone SOC reaalsel energiatarvet määrusepõhise energiatarbega. Selleks luuakse hoone mudel simulatsioonitarkvaras IDA-ICE. Teiseks eesmärgiks on koostada õppehoone tegeliku energiatarbimise detailne aastane bilanss. Seejärel pakkuda välja õppehoone energiasäästu võimalusi.

Lõputöö jaguneb viieks osaks, millest esimeses selgitatakse energiatõhususega seotud teooriat. Töö teises osas antakse ülevaade õppehoone SOC üldandmetest, süsteemidest. Lõputöö kolmandas peatükis kirjeldatakse mudeli loomist ning selle kalibreerimist. Töö neljandas peatükis tuuakse välja saadud tulemused, kokkuhoiumeetmed ning nende analüüs. Viimases peatükis tehakse vastavad järeldused hoone kokkuhoiumeetmetest.

KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Üheks suureks uuringuks Eestis võib pidada TalTechi poolt avaldatud „Hoonete arvutuslike energiamärgiste vastavus tegelikule tarbimisele. Lõpparuanne“. Aruandes on võrreldud väikeelamute, korterelamute ja büroohoonete arvutuslikku ja tegelikku energiatarbimist. Tehtud uuringute baasil tuuakse välja erinevused ning põhjused. Tuuakse ka erinevaid ettepanekuid, kuidas parandada antud situatsiooni. [2]

Pikas, Thalfeldt, Kurnitski on põhjalikult analüüsinud kontorihoone võimalikke lahendusi, mis võtavad arvesse nii energiatõhusust kui ka kulude optimaalsust. Artiklis vaadeldakse ka alternatiivseid meetmeid liginullenergiahoone taseme saavutamiseks. [3]

Andrei Engels on analüüsinud magistritöös elektritarbimist kahe büroohoone näitel. Uuringu käigus selgus, et hoonetel on suured erinevused tegeliku ja määrusepõhise kasutusprofiilid ning kasutusastad. Seetõttu tegelikud energiakulud ületasid prognoositavaid kulusid. [4]

Jakov Ivanov on uurinud magistritöös büroohoone energiatõhusust ja ehitusmaksumust. Autor leidis, et energiatõhususe miinimumnõuet pole tänapäeval raske saavutada, aga sel juhul pole enam võimalik rääkida kulooptimaalsusest. Need lahendused on pikas perspektiivis energiakulukumad. Madalenergiahooneni jõutakse sel juhul, kui muudetakse hoone tehnosüsteemide efektiivsust ja alandatakse nende liigset energiakasutust. [5]

Fadejev, Simson, Kesti ja Kurnitski analüüsisid põhjalikult hoone simuleeritud ja mõõdetud energiakasutust ning sellest tulenevaid erinevusi. Samuti hinnati hoone vastavust Soome liginullenergiahoone nõutele. Uuringu käigus selgus, et modelleeritud hoone energiatõhusus on umbes 33% madalam kui Soome liginullenergiahoone nõuete sihtväärtus, kuid seda võis väga palju mõjutada valesti automatiseeritud soojuspump. [11]

R. Männi uuris enda magistritöös Tallinna Tehnikaülikooli U06 õppehoone sisekliima kvaliteeti ja hoone energiakasutust. Töös on koostatud põhjalik soojus- ja elektrienergia soojusbilanss. Uuringu käigus selgus, et hoone kogu soojusest kulub 60% ventilatsiooni- ja infiltratsiooniõhu soojendamiseks. Elektrienergia kulust 49% kuulub ventilatsiooni-

süsteemidele ning teiseks suureks tarbijaks on hoone seadmed koos laborite seadmetega. [12]

Energiatõhusust puudutavaid uuringuid on palju, aga tihti uuringud on keskendatud pigem üksikule hoone komponendile. Vähe on uuringuid, mis hõlmaksid hoone tehnilisi lahendusi tervikuna.

1 ENERGIATÕHUSUS

Esimeses peatükis annab autor ülevaate magistr töö peamistest teoreetilistest alustest. Kirjeldatakse Eestis kehtivaid energiatõhususe nõudeid ja põhimõtteid.

1.1 Energiatõhususe miinimumnõuded

Hoone vastavust energiatõhususe miinimumnõuetele tõendatakse energiamärgisega. Energiatõhususe miinimumnõudeid tuleb järgida hoone püstitamisel ja olulisel rekonstrueerimisel ning hoone vastavust nõuetele hinnatakse ehitusprojekti alusel juba hoone projekteerimisel. [6] Käesolevas töös vaadeldakse haridushoonetele ja kontorihoonetele esitatavaid nõudeid.

Nõuded esitatakse nt ruumitemperatuuridele, tehnosüsteemidele ja välispiiretele. Vastavust nõuetele tõendatakse energiaarvutusega. Igale hoonetüübile on sõltuvalt kasutusotstarbest määratud energiatõhususe piirväärtused. Need on välja toodud Tabelis 1. [7]

Tabel 1 Kontorihoonete ja haridushoonete energiatõhususarvude (ETA) piirväärtused, koondtabel [7]

Hoonetüüp, kasutusotstarve	kWh/(m²·a)
Madalenergiahoonete energiatõhususarvude piirväärtused. Kontorihoone	130
Madalenergiahoonete energiatõhususarvude piirväärtused. Haridushoone	120
Oluliselt rekonstrueeritavate hoonete energiatõhususarvude piirväärtused. Kontorihoone	160
Oluliselt rekonstrueeritavate hoonete energiatõhususarvude piirväärtused. Haridushoone	160
Liginullenergiahoonete energiatõhususarvude piirväärtused. Kontorihoone	100
Liginullenergiahoonete energiatõhususarvude piirväärtused. Haridushoone	100

Hoonele määratakse ka energiakasutuse ja energiatõhususe klass lähtuvalt energiatõhususarvust. [6] Klass sõltub hoone otstarbest. Haridushoonete ja kontorihoonete klassi skaala on näha Tabelis 2 ja 3.

Tabel 2 Kontorihoonete energiatõhususarvu või kaalutud energiakasutuse klassi skaala

ETA või KEK, kWh/(m²a)	Klass
ET või KEK ≤ 100	A
101 ≤ ET või KEK ≤ 130	B
131 ≤ ET või KEK ≤ 160	C
161 ≤ ET või KEK ≤ 210	D
211 ≤ ET või KEK ≤ 260	E
261 ≤ ET või KEK ≤ 320	F
321 ≤ ET või KEK ≤ 400	G
ET või KEK ≥ 401	H

Tabel 3 Haridushoonete energiatõhususarvu või kaalutud energiakasutuse klassi skaala

ETA või KEK, kWh/(m²a)	Klass
ETA või KEK ≤ 100	A
101 ≤ ETA või KEK ≤ 120	B
121 ≤ ETA või KEK ≤ 160	C
161 ≤ ETA või KEK ≤ 200	D
201 ≤ ETA või KEK ≤ 250	E
251 ≤ ETA või KEK ≤ 310	F
311 ≤ ETA või KEK ≤ 390	G
ETA või KEK ≥ 391	H

Nendest tabelitest on näha, et uus ehitatav haridushoone ja kontorihoone peavad vastama miinimumklassile A, rekonstrueeritavad hooned võivad olla klass madalamad B.

Käesolevad nõuded on kehtivad alates 1. jaanuarist 2019. [7] Magistritöös vaadeldav hoone on võetud kasutusele aastal 2009, kus miinimumnõutele esitatavad nõuded olid teistsugused.

Esmaselt energiatõhususe miinimumnõuded olid rakendatud Eestis 2008. aastal, mida edaspidi korduvalt on muudetud ja täpsustatud.

1.2 Energiatõhususarv

Hoonete energiatõhusust hinnatakse energiatõhususarvu (ETA) või kaalutud erikasutuse (KEK) väärtusega. ETA ja KEK arvutatakse, jagades summaarse kaalutud tarnitud energiakasutuse kōetava pinna ruutmeetrite arvuga (Valem 1). [6]

$$ETA = \frac{\sum_i (E_{tar,i} \cdot f_j)}{A_{kōetav}},$$

kus ETA on energiatõhususarv kWh/(m²·a);

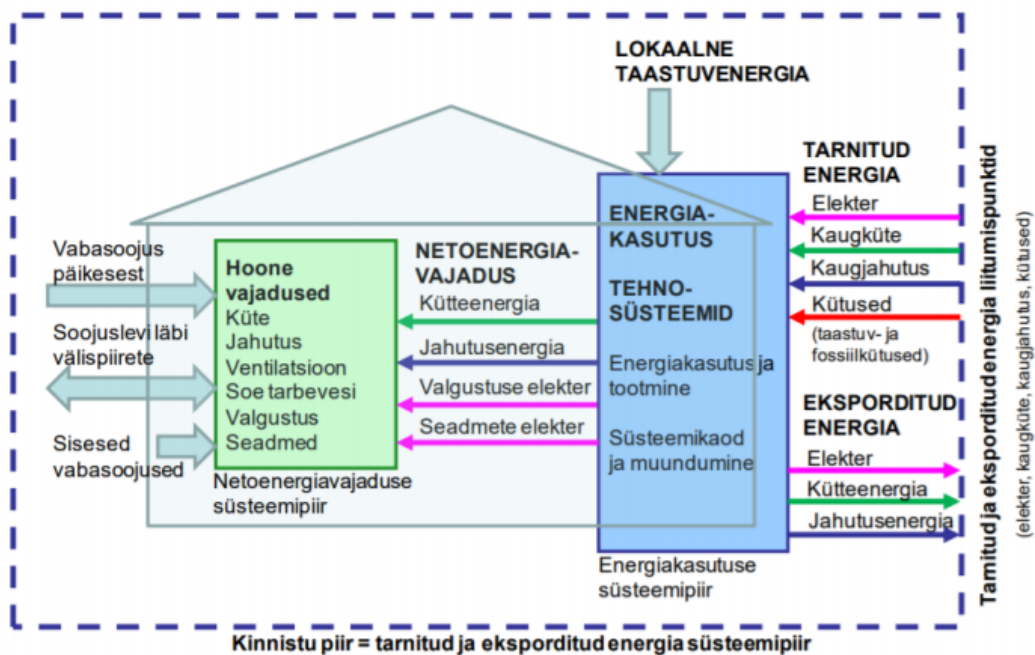
$E_{tar,i}$ on energiakandjaga i tarnitud energia kWh/a;

f_j on energiakandja i kaalumistegur;

$A_{kōetav}$ on kōetav pind m².

(Valem 1)

ETA ja KEKi mõjutavad erinevad faktorid ning neid illustreerib [8] Joonis 1.



Joonis 1 Energiatõhususe mõisted ja komponendid [6]

Tarnitud energiad jagatakse energiakandja järgi, millel on oma kaalumistegur. Kaalumistegur võtab arvesse tarnitud energia tootmiseks vajaliku primaarenergia kasutuse ja selle avaldatava keskkonnamõju [7] (Tabel 4).

Tabel 4 Energiakandjate kaalumistegurid [7]

Energiakandja	Kaalumistegur
taastuvtoormel põhinev kütus, puit ja puidupõhine kütus ning muu biokütus, välja arvatud turvas ja turbabrikett	0.65
kaugküte	0.9
tõhus kaugküte	0.65
kaugjahutus	0.4
tõhus kaugjahutus	0.2
vedelkütus, kütteõli ja vedelgaas	1.0
maagaas	1.0
tahke fossiilkütus	1.0
turvas ja turbabrikett	1.0
elekter	2.0

1.3 Arvutusmetoodika ja tegelik kasutus

Hoone energiatõhususe arvutusmetoodika pakub meetmeid energiatarbimise hindamise jaoks.[9] Enamus energiatõhususe arvutuses vaadeldavate tarbijate arvutusest baseerub etteantud andmetel:

- Hoone tüüpiline kasutus [9] – hoone tavapärase kasutus energiatõhususe miinimumnõutele vastavuse tõendamisel, mille kindlaksmääramisel võetakse arvesse hoone kasutamise otstarvet, välis- ja sisekliimat, hoone ja tehnosüsteemi kasutusaega ning vabasoojust
- Kasutusprofiil [9] - ruumi kasutusaste valgustuse, seadme ja inimese soojuseralduse suhtena maksimaalsesse soojuseraldusse.
- Tüüp(seade)väärtused [1] [6] [9] – miinimum ja maksimum temperatuurid, miinimumõhuhulgad, maksimum müratase, miinimum valgustatus, ohtlike ainete maksimum sisaldused jne.

ETA leidmiseks on vaja arvutada hoone tarnitud energiade kaalutud summaarne energiakasutus hoone standardkasutusel ning määrata, kui palju toodetakse lokaalset taastuvenergiat ja kui palju sellest kasutatakse ära hoones endas ning kui palju eksporditakse elektrivõrku. Hoone summaarne energiakasutus on hoone sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks ja elektriseadmete kasutamiseks vajalik tehnosüsteemide soojus- ja elektrienergia. Summaarse energiakasutuse sisse arvestatakse ka kõiki tehnosüsteemide, sealhulgas soojusallikate ja lokaalse tootmise jaotussüsteemide kadusid ning energia muundamist (näiteks soojuspumba soojustegur või külmajaama jahutustegur). Summaarne energiatarbimine leitakse ühe täisaasta kohta. [9]

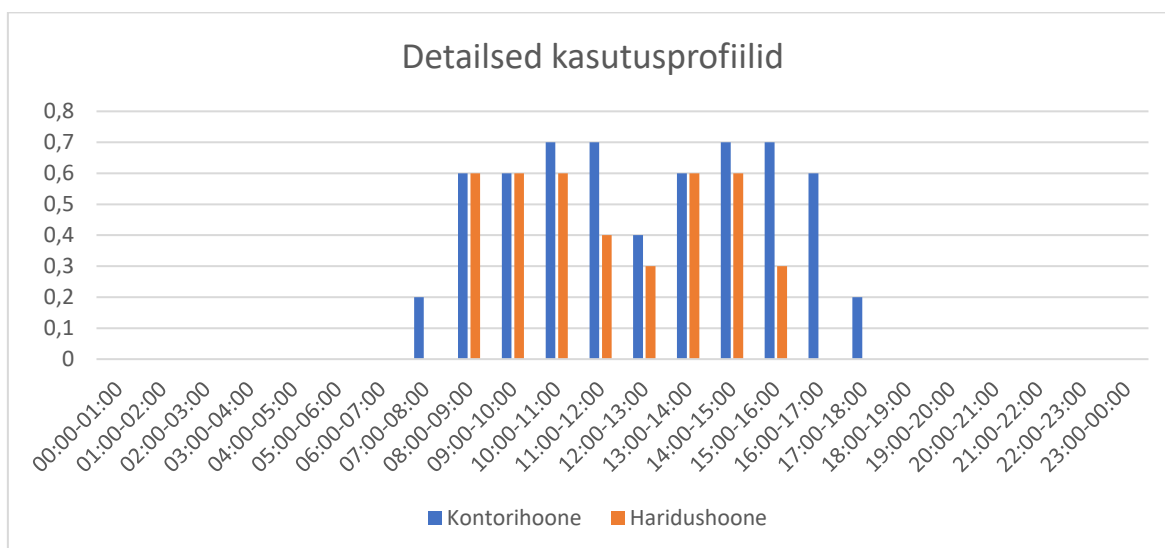
Kuna hoone energiatarbimine sõltub hoone suuruselt (samadel tingimustel on suurema hoone energiatarbimine suurem, kui väiksema hoone oma) taandatakse saadud energiatarbe väärtus hoone pindalaühiku peale – energiakasutus jagatakse läbi hoone kätava pindalaga ruutmeetrites. Seega on ETA alati toodud hoone ühe ruutmeetri kätava pinna kohta ning eri suurusega hooned on omavahel võrreldavad. [9]

KEK-i arvutamisel kasutatakse samu kaalumistegureid nagu ETA arvutamisel ning ka arvutusetapid on analoogsed. Kuna tarbimisandmed on olemas, puudub vajadus dünaamilise energiasimulatsiooni teostamiseks. Selle asemel taandatakse küttesoojus arvutuslikult normaalaastale kuna konkreetse aasta kütteenergiakasutus sõltub oluliselt välisõhu temperatuurist ja tuleb elimineerida tavapärasest külmemate või soojemate talvede mõju KEK-i väärtusele. [9]

Standardkasutuse mitte arvesse võetavad energiatarbijad on serverid, välisvalgustus, välised sulatuskaablid parkla kaldteedel, kuumköögid. [9]

1.4 Kasutusprofiil

Kasutusprofiil on ruumi kasutusaste valgustuse, seadme ja inimese soojuseralduse suhtena maksimaalsesse soojuseraldusse. [9]



Joonis 2 Kontorihoone ja haridushoone detailed kasutusprofiilid Eestis [9]

Hoone tüüpiline kasutus ja sellele vastav seadme, valgustuse ja inimese soojuseraldus tabelis 5, kus on toodud hoone kasutustundide arv ööpäevas ja kasutuspäevade arv nädalas ning suurimad valgustuse, seadme ja inimese soojuseraldused hoone kasutusajal. Soojuseraldused ei sisalda tehnosüsteemi soojuseraldust. [9]

Hoone kasutusotstarve	Kasutusaeg			Kasutussaste	Valgustus W/m ²	Seade W/m ²	Inimene W/m ²	Inimene m ² /inim.
	Kellaaeg	h/24 h	d/7 d					
Kontorahoone	07:00-18:00	11	5	0,55	10	12	5	17
Haridusahoone	08:00-16:00	8	5	0,5	12	8	14	5,4

Tabel 5 Hoone kasutusajad ja vabasoojused [9]

2 HOONE ÜLEVAATUS



Joonis 3 TalTechi linnak [10]

2.1 Õppehoone üldandmed

Hoones toimub statsionaarne õppetöö tööpäeviti. Suvekuudel õppetööd ei toimu kuid kontoriruumid on ülikooli personali poolt kasutusel. Hoone on kasutuses iga päev ajavahemikul 6.00 kuni 22.00.

Tabel 6 Hoone üldandmed [9]

Hoone aadress	Tallinn, Mustamäe linnaosa, Akadeemia tee 3
EHR kood	120546679
Esmase kasutuselevõtu aasta	2009
Hoone kasutamise otstarve	12634 Ülikooli, rakenduskõrgkooli õppehoone
Korruste arv	5 korruseline keldrikorrusega (kokku 6 korrust)
Ehitusalane pind	3324,5 m ²
Suletud netopind	10360 m ²
Köetav pind	10360 m ²
Maht	45882,4 m ³

2.2 Hoone kirjeldus

Õppehoone asub aadressil Tallinn, Mustamäe linnaosa, Akadeemia tee 3. Esmase kasutuselevõtu aasta on 2009. Hoone on 5 korruseline keldrikorrusega (kokku 6 korrust). Keldrikorrusel on autoparkla.

Hoone fassaad on erinev. Põhjakaarde orienteeritud auditooriumite plokk on klaasitud. Hoone läände ja lõunasse orienteeritud välisseinad on lahendatud traditsiooniliselt, kasutades krohvipindu ja lintaknaid. Fassaadi viimistluses kasutatud ka põletatud savitellist.

Hoone 1. korrus on projekteeritud tagasiastuvana, korrused kas postidele toetuvad või osaliselt konsoolselt lahendatud. Hoone on plaanilahenduselt nelinurkne ja projekteeritud ümber avatud siseõue. Siseõu moodustab alates 2.korruse tasapinnast ja võimalik pääs kõikidest hoonetiibadest. Hoone diagonaalselt paiknevate sissepääsude vahel on suur vestibüül, garderoobid, pakihoiu kapid ja infolaud. Peavestibüülist viivad selgelt eristatavad trepikäigud ja liftiplokid õppehoone erinevatesse piirkondadesse. Sissepääsukorrusel on köök ja suur söögisaal.

Auditooriumite plokis paiknevad 2.korrusest kuni 4.korruseni eri suurusega auditooriumid. Ringauditoorium asub 2.korrusel. Erinevate teaduskondade plokis on 2.korrusesest kuni 4.korruseni auditooriumite läheduses dekanaadi ruumid. 5.korrusel orientatsiooniga lõunasse ja läände on saun, lõõgastusruum ja katuserass. Samuti sellel korrusel asuvad tehnoruumid.

Hoones on 4 serveriruumi. Kaks neist asuvad 1.korrusel, kolmas asub 2.korrusel ning neljas 3.korrusel.

Õppehoone SOC konstruktsioonide parameetrid on toodud välja tabelis 7.

Konstruktsioon	U, W/(m²K)
Klaasfassaad	0,29
3-kihiline välissein	0,15
Tellisvoodriga välissein	0,2
Krohvitud välissein	0,17
Katus	0,09
Põrand	0,11
Aknad	1,46
Uksed	1,01

Tabel 7 Õppehoone SOC konstruktsioonide parameetrid

2.3 SOC õppehoone tehnosüsteemid

Õppehoone tehnosüsteemide info on saadud projektist ning vaatluse tulemusel. Tehnosüsteemid on omavahel automaatikaga ühendatud vältimaks õppehoone samaaegset kütmist ja jahutamist. Automaatikasüsteemist saadetakse tehnosüsteemide andmed õppehoone haldusprogrammi, kus on võimalik vaadelda tehnosüsteemide tööd ja ruumiõhu temperatuure.

2.3.1 Soojussõlm

Hoone on ühendatud AS Utilitas Tallinn kaugkütte võrguga. Soojussõlm asub 0. korruse tehnilises ruumis.



Joonis 4 SOC õppehoone soojussõlm, 05.04.2021

Tabel 8 Õppehoone soojussõlm

Süsteem	Võimsus, kW	Sekundaar temp, °C	Primaar temp, °C	Pump
Radiaatorküte	350	70/50	55/110	MAGNA32-120
Õhkküte vesiglükooliga 30%	270	80/50	55/110	UPS 50-120
Ventilatsioon	1000	70/40	45/110	TPE 65-120/2
Soe tarbevesi	250	5/55	65/25	UPE 25-60

2.3.2 Küte

Hoonel on järgmised küttesüsteemid:

- Radiaator- ja konvektorküte süsteem
- Ventilatsiooni soojavarustus (s.h. õhkkardinad)
- Parkla sissepääsu puhurite süsteem (vesi-glükool)

Ruumides, milles on jahutus, on paigaldatud kaugjuhitavad radiaatorite termostaadid. Juhtimine on seotud vastava ruumi jahutusega. Auditoriumites radiaatorite reguleerimine on seotud temperatuuri anduritega.

Radiaator- ja konvektorküte

Küttekehadena on kasutatud:

- Terasplaatradiaatorid Purmo Compact
- Terasibiradiaatorid Delta Laserline
- Konvektorid Purmo Kon

Ventilatsiooni (kalorifeeride) soojavarustus, õhkkardinad

Arvutuslik soojusvajadus ventilatsiooniseadmetele on 860 kW ja õhkkardinatele on 125 kW. Õhkkardinate töötemperatuurid arvutuslikul välistemperatuuril on 70/40 °C ning ventilatsiooni seadmete kalorifeeride töötemperatuurid on 60/40 °C.

Hoone peasissepääsudes on paigaldatud õhkkardinad.

0. korruse parkla õhkküte (vesi-glükoolsüsteem)

Parkla uksele on paigaldatud vertikaalsed õhkkardinad. Puhurite juhtimine toimub ruumitemperatuuri anduri näidu järgi sissesõidul.

2.3.3 Ventilatsioon

Hoonel on 5 sissepuhke-väljatõmbesüsteemi, 1 sissepuhkesüsteem, 10 mehaanilist väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi (3 nendest töötavad ka suitsueemaldusena), 1 suitsutõrje ülerõhusüsteem ja 2 suitsutõrje väljatõmbesüsteemi.

Ventilatsiooniagregaadid asuvad 5. korruse tehnilistes ruumides ning katusel (katuseventilaatorid).

Tabelis 9 on väljatoodud ventilatsioonisüsteemide parameetrid.

Tabel 9 Ventilatsioonisüsteemide tööaeg, õhuhulgad ja SFP väärtused

Süsteem	Teenindusala	Tööaeg		Ventilaator		SFP,sp	SFP,vt	
				Õhuhulk sp, m ³ /s	Õhuhulk vt, m ³ /s			
301	0.k parkla	6:00-18:00	E-R	6,2	3,3	1,3	0,8	
				3				3,3
								3,3
								7,5
								7,5
302	1-4.k kabinetid	5:00-20:00	E-R	6,6	6,2	1,1	0,7	
303	1-4.k väikesed auditooriumid	07:00-18:00	E-R	3,2	3,2	1,7	1,3	
304	2-4.k väikesed auditooriumid	08:00-18:00	E-R	5,7	4,4	1,9	1,3	
305	2-4.k auditooriumid	06:00-20:00	E-R	8,6	8,6	1,7	1,7	
306	2.k ringauditoorium	7:00-18:00	E-P	1,8	1,8	0,7	0,7	
307	1.k köögi ja söögisaal	3:00-20:00/20:00-3:00	E-P	2	1,3	2,0	0,9	
					1		0,8	
308	1-4.k hügieeniruumid	7:30-22:00	E-P		1,4		0,9	
309	2-4.k hügieeniruumid	7:00-22:00	E-P		0,3		1,0	
310	1.k suitsetamisruum	7:00-22:00	E-R		0,3		1,0	
		8:30-20:00	L					
		9:30-21:00	P					
311	5.k san.ruumid	24h	E-P		0,1		1,0	
312	Evak.trepikoda				1		0,4	
313	0.korruse parkimisala				1,2		0,9	
314	0.korruse soojussõlm	24h	E-P		0,06		1,7	
315...319	Liftisahtid ja tehnr. ruumid							

Ventilatsioonisüsteem nr 305 on VAV-klapiga süsteem. Selleks, et leida VAV-klapi süsteemil õhuvooluhulga muutumise graafik, olid tehtud ventilaatori võimsuse mõõtmised, kus VAV-klapp oli avatud 100%. Mõõtmised toimusid 29. septembrist kuni 01. oktoobrini 2021 aastal. Mõõdeti ventilaatori võimsust iga 10 minuti tagant. Seejärel arvutati igas tunnis tarbitud elektri võimsus, mis võttis arvesse iga 10 minuti keskmise võimsuse, ja saadi, et keskmiselt päevas kulutab elektrit ventilaator VAV-klapi 100% avatuse korral 9,59 kWh. Tehnilistest andmetest oli teada, et õhuvooluhulk on sel korral 8,6 m³/s ja ventilaatori rõhutõus on 500 Pa, millest 200 Pa moodustab torustik ning see on konstantne väärtus.

Toimusid ka mõõtmised sel olukorral, kui VAV-klapp ei olnud 100% avatud. Avatuse protsent ja vooluhulk olid teadmata. Vaadeldi sellist olukorda 2 nädalat alates 2021 aasta 30. august kuni 2021 aasta 12. september. Tulemuseks saadi, et keskmine ventilaatori võimsus päevas on sel olukorral 3,76 kW.

Seejärel kasutati aluseks ventilaatori elektrivõimsuse valemit (Valem 2):

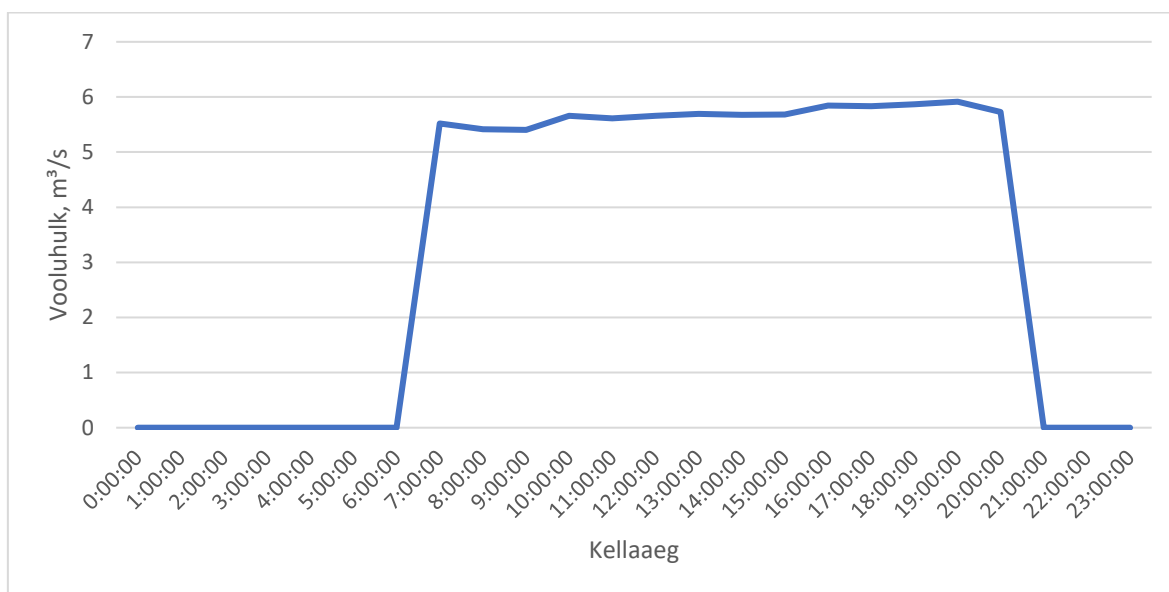
$$P_V = \frac{\Delta p_v * V}{\eta_{ft}}, \quad (\text{Valem 2})$$

kus Δp_v on ventilaatori rõhutõus Pa;

V on ventilaatori õhuvooluhulk m^3/s ;

η_{ft} on ventilaatori summaarne kasutegur, mis arvestab ventilaatori kasutegurit, rihmülekande kasutegurit, mootori kasutegurit ja võimalikku pöörlemiskiiruse kasutegurit [7]

Valemist avaldati vastavalt VAV süsteemile vooluhulk ja koostati vooluhulga graafik (Joonis 5).



Joonis 5 305 VAV-seadme vooluhulga graafik

Süsteemi ventilaator hakkab tööle hommikul kell 6:00 ja lülitub välja õhtul kell 21:00. Keskmise õhuvooluhulga on $5,63 m^3/s$. Mudelisse lisati 100% avatuse ja teadmata % avatuse vooluhulkade suhte graafik vastavale süsteemile ning jaotati vooluhulk vastavalt projekti joonistele teenindavate tsoonide vahel.

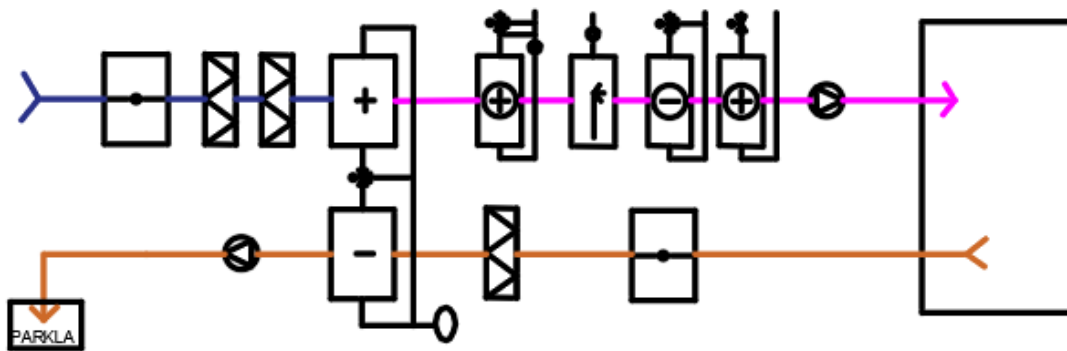
Süsteemi 306 õhuvooluhulga juhtimine toimub ventilaatorite pöörlemiskiiruse muutumisega. Süsteemi 305 õhuvooluhulka saab juhtida ruumide kaupa. Kokku saab juhtida 8 erinevat VAV-klappi, mis teenindavad 15 ruumi, süsteemis 305.

Soojustagastusega ventilatsioonisüsteemide soojustagastite tüübid ja parameetrid on väljatoodud tabelis 10.

Tabel 10 Ventilatsioonisüsteemide soojustagastid ja nende parameetrid

Süsteem	Soojustagasti	Temperatuuri suhtarv
302	Vahesoojuskandjaga	0,4
303	Vahesoojuskandjaga	0,4
304	Rootor	0,75
305	Rootor	0,75
306	Rootor	0,75

Skeemil 1 on näha ventilatsioonisüsteemi nr 302 ehitust.



Skeem 1 Ventilatsioonisüsteemi nr 302 põhimõtteline skeem

2.3.4 Jahutus

Külmavarustussüsteem 401 teenindab hoone aktiivjahutusseadmeid ja ventilaatorjahutuskonvektoreid. Külmavarustussüsteem 403 teenindab ventilatsioonisüsteemide jahutuskalorifeere.

Külmavarustussüsteemide näitajad:

- 401 külmakandja temperatuurid 7/12°C
- 403 külmakandja temperatuurid 7/12°C vesi-glükool 40%

Süsteem 401 külmamasin paikneb 5. korruse tehnilises ruumis 503. Külmamasina kondensaatorit jahutatakse vesi-etüleenglükooli vesilahusega. Veejahuti paikneb katusel. Süsteemi arvutuslik jahutusvõimsus on 165 kW.

Süsteemil 403 on paigaldatud kondensaatori õhkjahutusega külmamasin (välisseade). Külmamasin asub 5. korruse katusel. Külmamasin väljastab vesi-etüleenglükooli vesilahusega külmakandjat. Süsteemi jahutusvõimsus on 550 kW.

Jahutus toimub kontoriruumides, arvutiklassides, koridorides ning serveriruumides.

Suure soojaeraldusega ruumides on paigaldatud SPLIT-tüüpi õhukonditsioneerid. Nendeks ruumideks on serveriruumid 128 ja 137. Nendele on ette nähtud dubleeritud (avarii) jahutusvõimsusega split-jahutid. Serverite heitsoojus juhitakse parklasse.

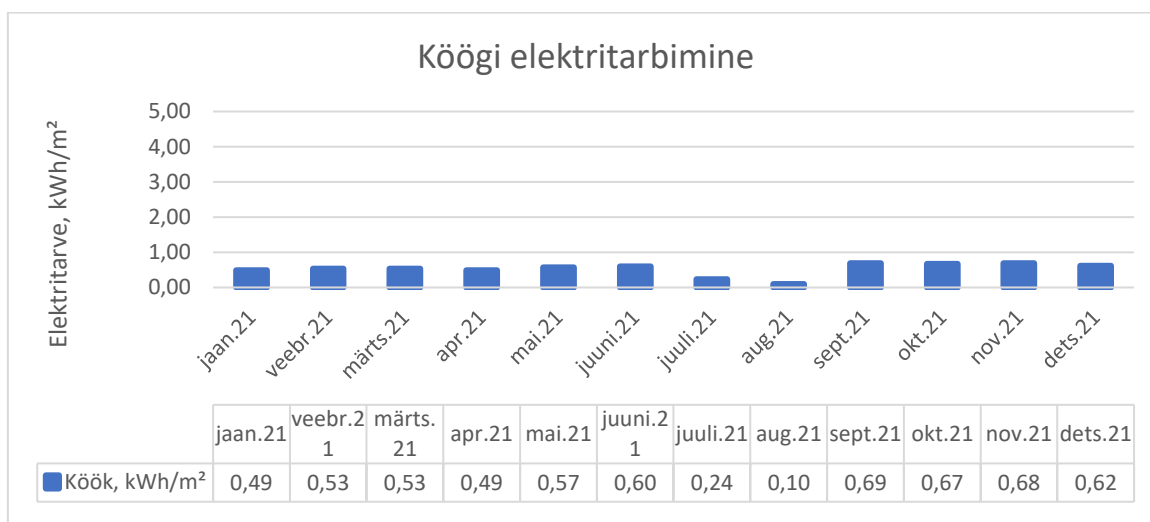
3 METOODIKA

Mudeli koostamise eel tuleb üle vaadata hoone lähteandmed. Andmete allikaks on hoone tööprojekt, mis sisaldab nii arhitektuurset projekti koos konstruktsioonidega kui ka küte-, ventilatsiooni- ja jahutuse projekti. Tööprojekti üks osa käsitleb ka elektrit, hooneautomaatikat. Samuti on üheks projekti osaks veevarustus, kanalisatsioon, sprinklerkustutus ning tuletõrjeveevarustus.

Teiseks allikaks on hoones väljaehitatud automaatikasüsteem, mis annab võimaluse ruumide sisekliima parameetreid (temperatuur, õhuniiskus, co2) jälgida läbi arvutisüsteemi ja saadud andmeid salvestada. Automaatikasüsteem annab võimaluse jälgida kontrollerite parameetreid ja anda neile juhtimiskäsked. Süsteem võimaldab ka muuta ruumide sissepuhke ja väljatõmbe õhu temperatuuri ning kiirust ventilatsioonikanalis. Lisaks süsteemi saab jälgida reaalajas ja kontrollida möödunud ajavahemikel seadmete olekuid ja häireid.

Täpse mudeli koostamiseks on vaja mõõta eraldi standardkasutuse energiabilansi väliseid elektrienergia tarbijaid. Nendeks on köök, serverid ning välised sulatuskaablid parkla kaldteedel.

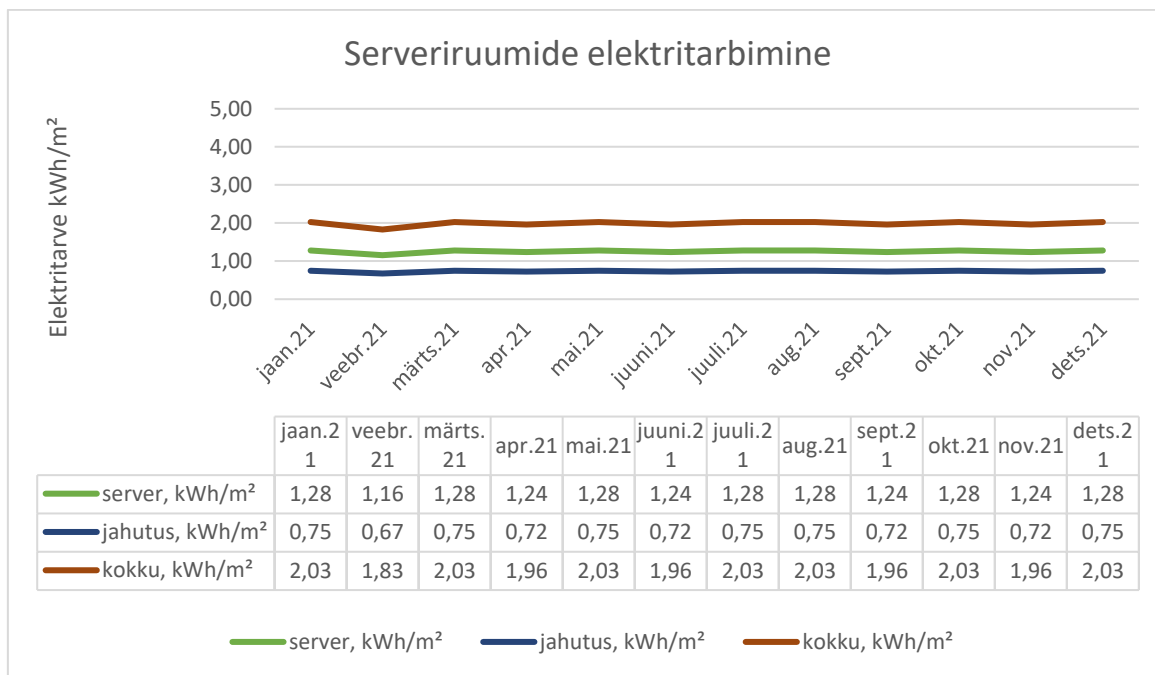
Õppehoone detailse elektrienergiabilansi koostamine



Joonis 6 Õppehoone SOC köögi elektritarbimine aastal 2021

Jooniselt 6 on näha, et köök tarbis kõige rohkem elektrit septembris 0,69 kWh/m² ja kõige vähem augustis 0,10 kWh/m². Selline madal tarbimine augustis on selletõttu, et köök ei tööta. Köögi keskmine tarbimine igas kuus on 0,52 kWh/m². Aasta summaarne tarbimine 6,20 kWh/m².

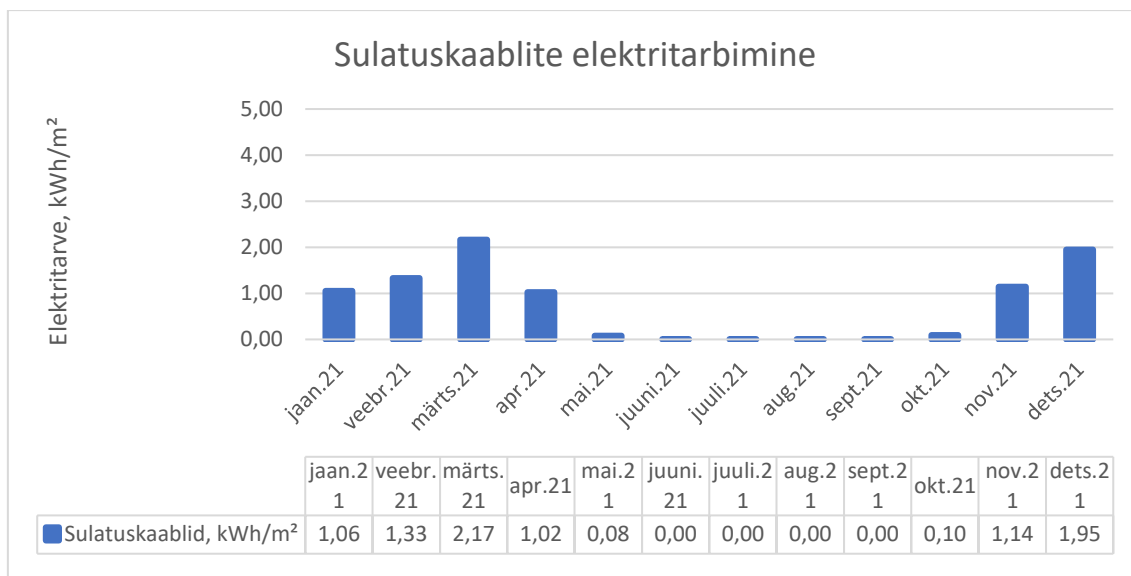
Õppehoones on 4 serveriruumi ning iga ruum vajab pidevat jahutust, et hoida konkreetset temperatuuri. Serverite ning nende jahutite võimsusi on mõõdetud ajavahemikus 28.05.2021-11.06.2021. Võimsused on mõõdetud iga 10 minuti tagant ja on võetud 10 minuti keskmine võimsus. Eeldatud on, et serverite ja jahutuse töö on pidev ning seejärel leitud iga kuu kohta elektritarbimine. Mõõtmistulemusi on näidatud joonisel 7.



Joonis 7 Õppehoone SOC serveriruumide aastane elektritarbimine

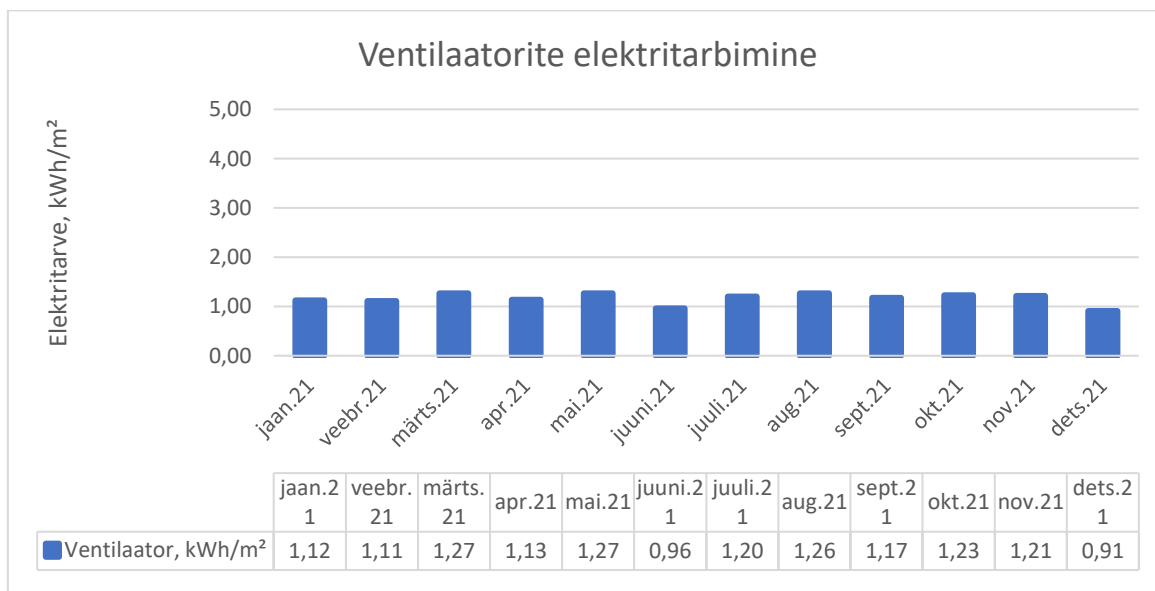
Jooniselt 7 on näha, et aasta jooksul igas kuus serverid tarbivad koos jahutusega keskmiselt 1,99 kWh/m² elektrit. Jahutus eraldi tarbib elektrit keskmiselt 0,73 kWh/m² kuus ning serverid 1,25 kWh/m². Aasta summaarne elektritarbimine koos jahutusega on 23,85 kWh/m².

Õppehoones SOC on olemas kaldteed sulatuskaablitega. Andmed sulatuskaablite tarbimise kohta on olemas alates 2020 aasta detsember kuni 2021 aasta detsember. Sulatuskaablite töö sõltub eelkõige välisõhu temperatuurist. Nende töö ei ole pidev. Kaablite energiatarve aastal 2021 on näidatud joonisel 8.



Joonis 8 Õppehoone SOC sulatuskaablite elektritarbimine aastal 2021
Sulatuskaablite aasta summaarne tarbimine on 8,85 kWh/m².

Ventilaatorite võimsuste mõõtmine toimus alates 2021 aasta 08. juulist kuni 2021 aasta 5. oktoobrini. Võimsusi mõõdeti kõikides süsteemides iga 10 minuti tagant ja võeti 10 minuti keskmine võimsus. Elektritarbimise graafiku koostamiseks leiti iga süsteemi ventilaatori päeva tarbimine vastavalt süsteemi töögraafikule ning seejärel arvutati välja iga kuu tarbimine, arvestades suve ja talve puhkust.

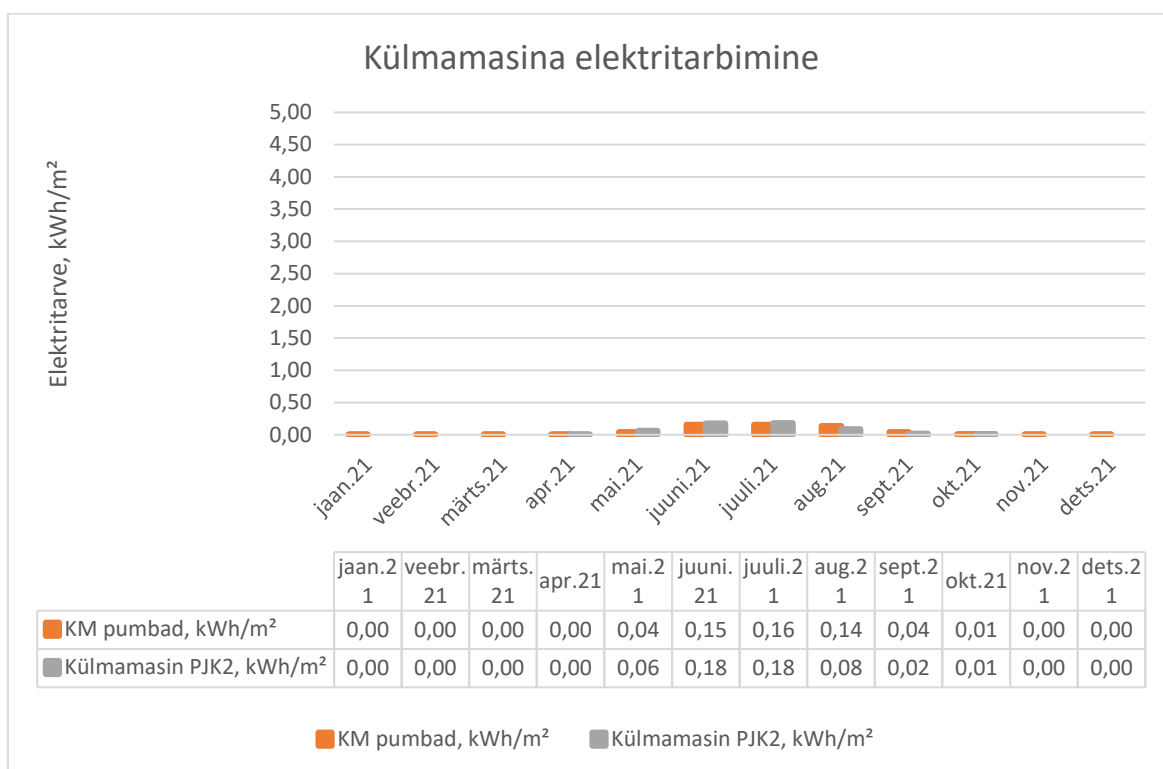


Joonis 9 Õppehoone SOC ventilaatorite elektritarbimine aastal 2021

Jooniselt 9 on näha, et kõige vähem tarbivad ventilaatorid juunis 0,96 kWh/m² ja detsembris 0,91 kWh/m². Juunis lülitakse ventilatsioon välja üheks nädalaks ja erandina jääb tööle 307 ventilatsiooniagregaat ½ režiimil. Detsembris pühade ajal lülitakse ventilatsioon umbes kaheks nädalaks välja ja erandiks jääb tööle 307

ventilatsiooniagregaat ½ režiimil. Kõige suurem tarbimine toimub nendes kuudes, kus on 31 päeva. Nendeks on märts ja mai ning ventilaatorite elektritarve on 1,27 kWh/m². Aastas tarbivad ventilaatorid 13,85 kWh/m² elektrit.

Õppehoonel SOC on olemas külmamasin, mis tarbib ka elektrit. Külmamasina ja tema pumpade elektritarbimise andmed on võetud arvestite pealt. Tulemused on toodud joonisel 10.



Joonis 10 Õppehoone SOC külmamasina ja tema pumpade elektritarbimine aastal 2021

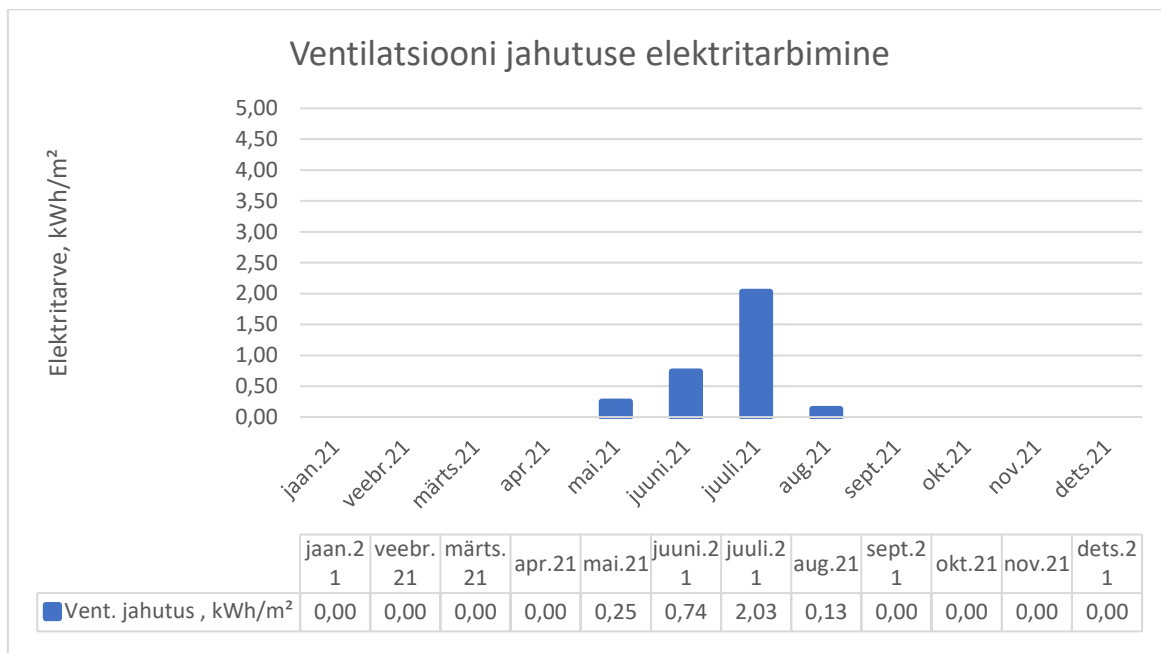
Külmamasina elektritarbimise ajavahemik on maist kuni oktoobrini. Kõige suurem elektritarbimine on juulis 0,34 kWh/m² ning kõige väiksem tarbimine on oktoobris 0,02 kWh/m². Aastas tarbib külmamasin koos pumpadega 1,09 kWh/m² elektrit.

Õppehoones SOC on olemas eraldi ventilatsiooni jahutus. Ventilatsiooni jahutuse elektritarbimise leidmiseks võeti aluseks iga süsteemi seadetemperatuur (Tabel 13). Loodi tabel, kus oli iga tunni kohta välisõhu temperatuur, suhteline niiskus, entalpia, kastepunkt. Seejärel kontrolliti, kui sissepuhke temperatuur jahutada maha seadetemperatuurini, kas jõutakse 100% niiskuseeni või mitte. Kui jõutakse 100% niiskuseeni, siis kasutati valemit nr 3 ja kui ei jõuta 100% niiskuseeni, kasutati valemit nr 4.

$$\Phi = L_m(h_1 - h_2), \text{ kW} \quad (\text{Valem 3})$$

$$\Phi = c_{\delta} * L_m(t_1 - t_2), \text{ kW} \quad (\text{Valem 4})$$

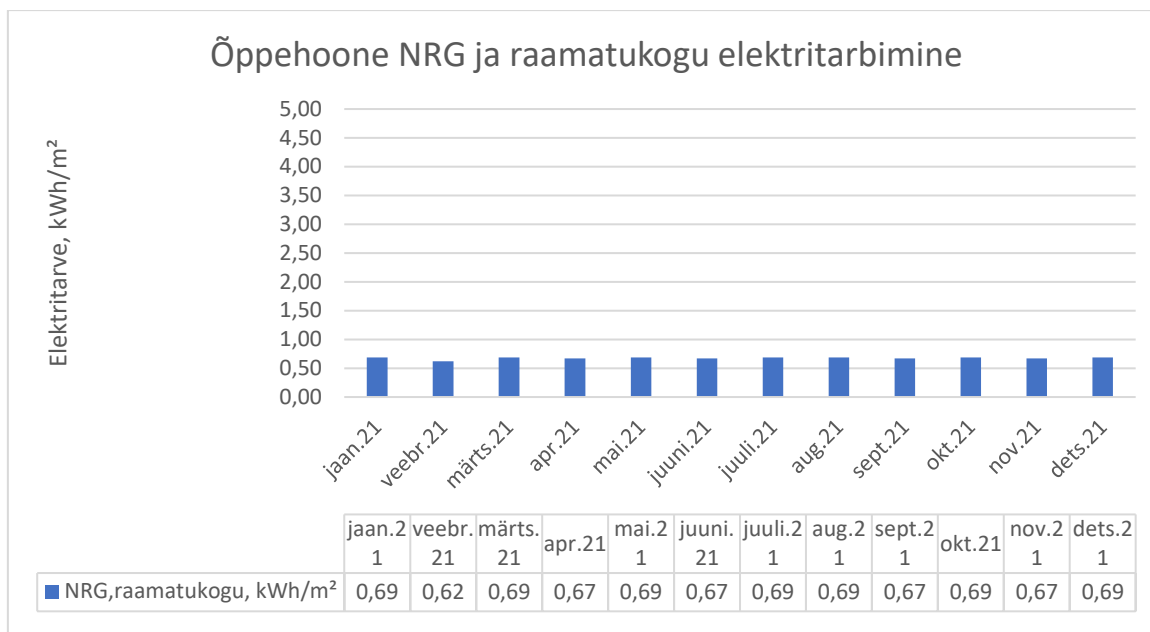
Seejärel leiti igakuine võimsus aastal 2021 ja jagati jahutusteguriga 3. Tulemused on toodud joonisel 11.



Joonis 11 Õppehoone SOC ventilatsiooni jahutuse elektritarbimine aastal 2021

Ventilatsiooni jahutuse elektritarbimine toimus maist kuni augustini. Kõige suurem elektritarbimine oli juulis 2,03 kWh/m² ja kõige väiksem augustis 0,13 kWh/m². Aastas tarbis ventilatsiooni jahutus 3,15 kWh/m² elektrit.

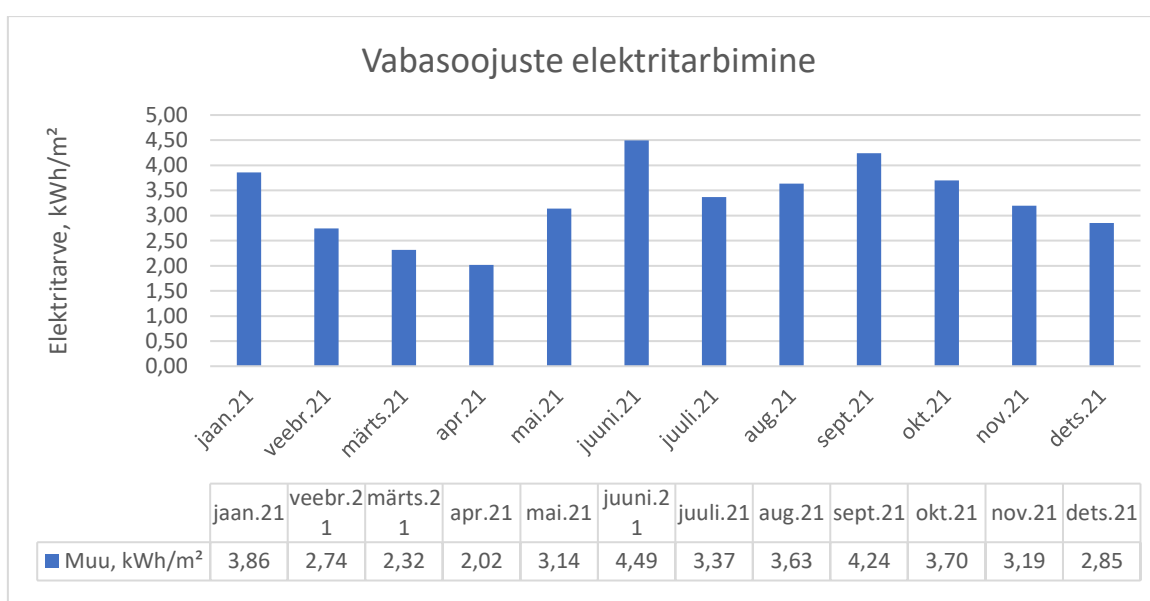
Uurides õppehoone SOC elektrikilpe oli avastatud, et ühes kilbis on õppehoone NRG ja raamatukogu hoone UPS-toide (UPS süsteem on online ehk selle taga olevad serverid saavad pidevalt läbi UPS-i võrgust toite). Selle kilbi osale olid pandud eraldi mõõtmised. Mõõtmised toimusid ajavahemikus 7.02.2022-22.02.2022. Mõõdetud on 10-minutilise ajasammuga. Seejärel on arvutatud igakuine tarbimine, eeldades, et tarbimine on pidev ja sarnane. Tulemused on toodud joonisel 12.



Joonis 12 Õppehoone NRG ja raamatukogu elektritarbimine aastal 2021

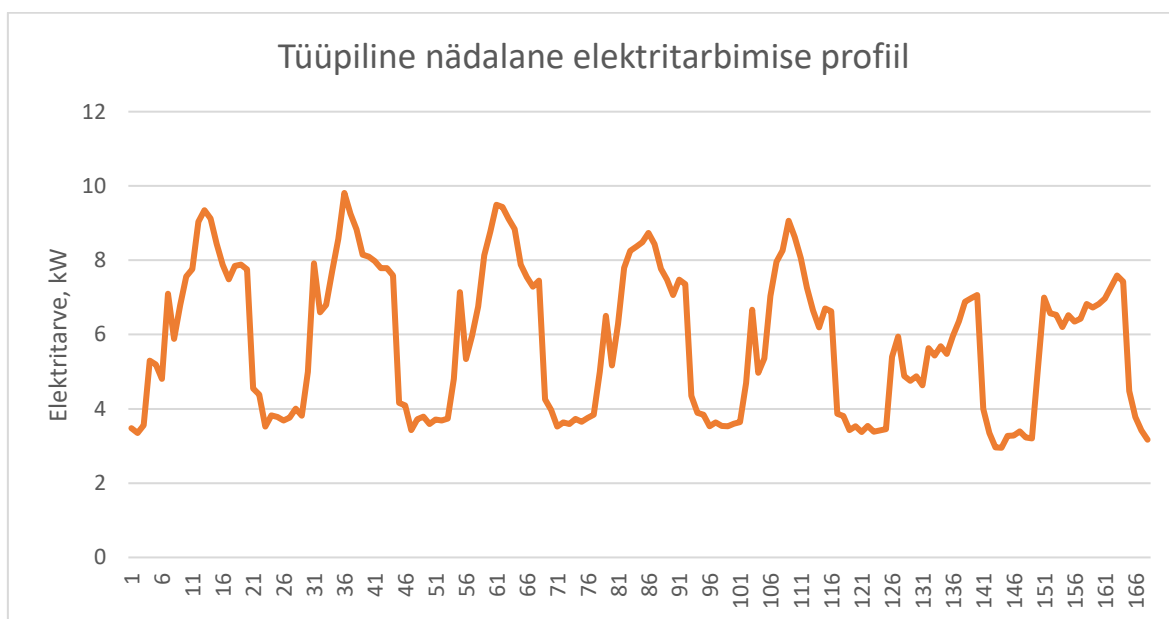
Jooniselt 12 on näha, et suurim tarbimine toimub pikematel kuudel 0,69 kWh/m² ja vähim elektritarbimine toimud veebruaris 0,62 kWh/m². Aastane tarbimine on 8,10 kWh/m².

Järgmise joonise loomiseks on võetud aluseks kogu hoone elektritarbimine. Sellest on lahutatud maha kõik teadaolevad tarbijad ja on saadud õppehoone SOC elektritarbimised, mis lähevad valdkonna muu alla. Sinna kuulub näiteks valgustus (va parkla valgustus), tava elektrikasutus, liftide kasutus jne. Aasta summaarne tarbimine on 39,55 kWh/m².



Joonis 13 Õppehoone SOC vabasojste energiatarbimine aastal 2021

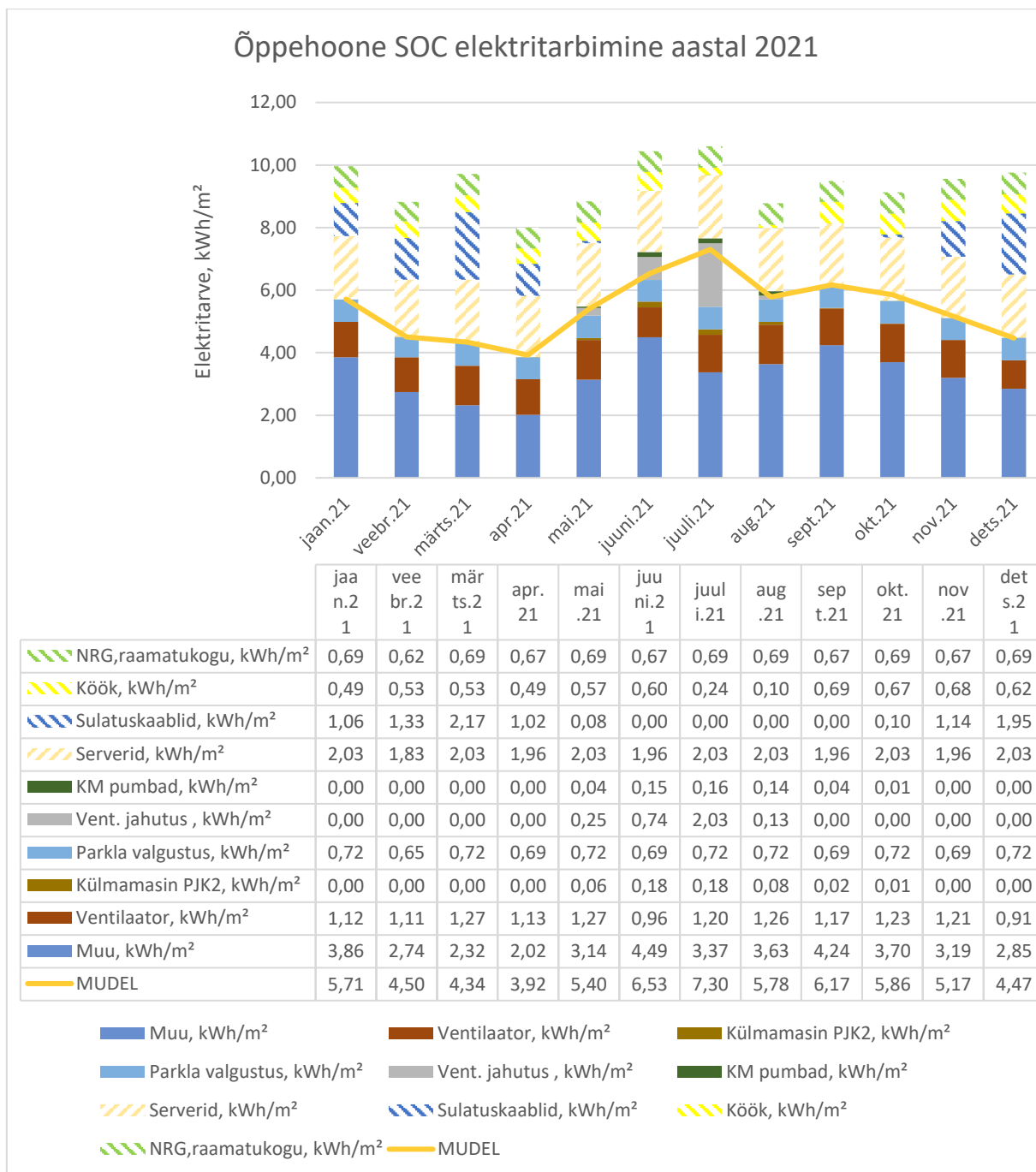
On koostatud tunnipõhine energiabilanss, kust kogu hoone elektritarbimisest on lahutatud maha kõik teadaolevad tarbijad. Teadaolevateks tarbijateks on NRG ja raamatukogu hoone, serverid koos jahutusega, ventilaatorid, ventilatsiooni jahutus, sulatuskaablid, köök ja parkla valgustus. Lahutades kogu elektritarbimisest eelnevalt mainitud tarbijad, saadi tarbimine, mida tõlgendati kui õppehoone SOC vabasoojuse tarbimine. Seejärel on koostatud prn-fail, mis on lisatud mudelisse seadmete alla. Valgustus tsoonides, kus on sisestatud prn-fail, on pandud nulliks, sest seadmete all olev prn-fail sisaldab ka valgustuse elektritarbimist. Uurides tunnipõhist energiabilansi autor koostas tüüpilise nädalase elektritarbimise profiili (Joonis 14).



Joonis 14 Õppehoone SOC tüüpiline nädalane elektritarbimise profiil

Jooniselt 14 selgub, et tööpäevadel elektritarbimine on ühtlane ning nädalavahetusel tarbimine on väiksem.

Saadud elektritarbimiste andmetega oli koostatud detailne elektrienergiabilanss (Joonis 15).

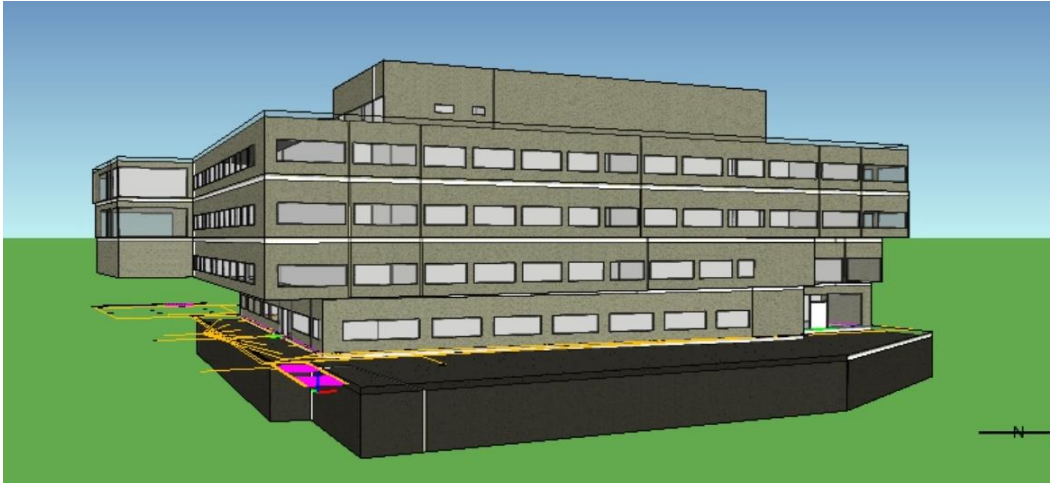


Joonis 15 Kogu hoone elektrienergiabilanss aastal 2021

Bilansist tuleb välja, et kõige suurem osa elektrienergia tarbimisest kuulub valdkonna muu alla. Aastas on selle tarbimine 39,55 kWh/m². Parkla valgustus on toodud eraldi, sest kohapeal selgus, et parkla valgustuse tööajaks oli pandud 24/7. Joonisel 15 viirutatud osaga on tähistatud need tarbijad, mis lähevad standardkasutuse energiabilansist välja. Nendeks on sulatuskaablid, köök, serverid, õppehoone NRG ja raamatukogu elektritarbimine.

3.1 Simulatsioonimudel

Antud magistritöös on kasutatud IDA indoor climate and energy (IDA ICE) 4.8 simulatsioonitarkvara. Sellega teostatakse hoonele dünaamiline energiaarvutus. Mudeli kalibreerimisel kasutati 2021 aasta kliimafail ja võeti arvesse sama aasta hoone tarbitud energiakulu.



Joonis 16 Hoone vaade lõuna lääne suunast

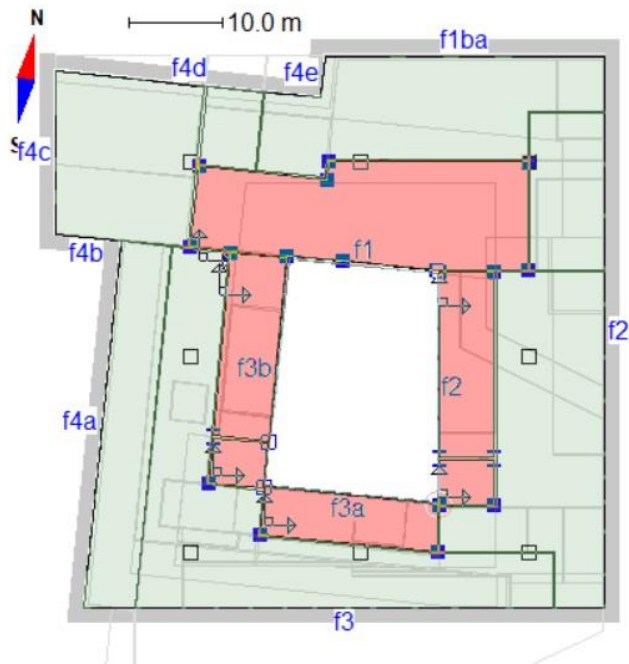
3.2 Simulatsioonimudeli koostamine ja kalibreerimine

Enne mudeli loomist IDA ICE programmis tuleb mudeli lihtsustamiseks tsoneerida hoone. Mudeli koostamisel on võetud aluseks hoone konstruktiivsed ja arhitektuursed joonised. Tsoneerimine toimub korruste kaupa ja tuleb järgida järgnevaid põhimõtteid:

- Kokku panna ühe fassaadi ning hoone sees olevad sarnase kasutusega ruumid
- Eraldi grupeerida fassaadi kaupa
- Eraldi grupeerida ruumide tüübi järgi
- Eraldi grupeerida tehnosüsteemide järgi

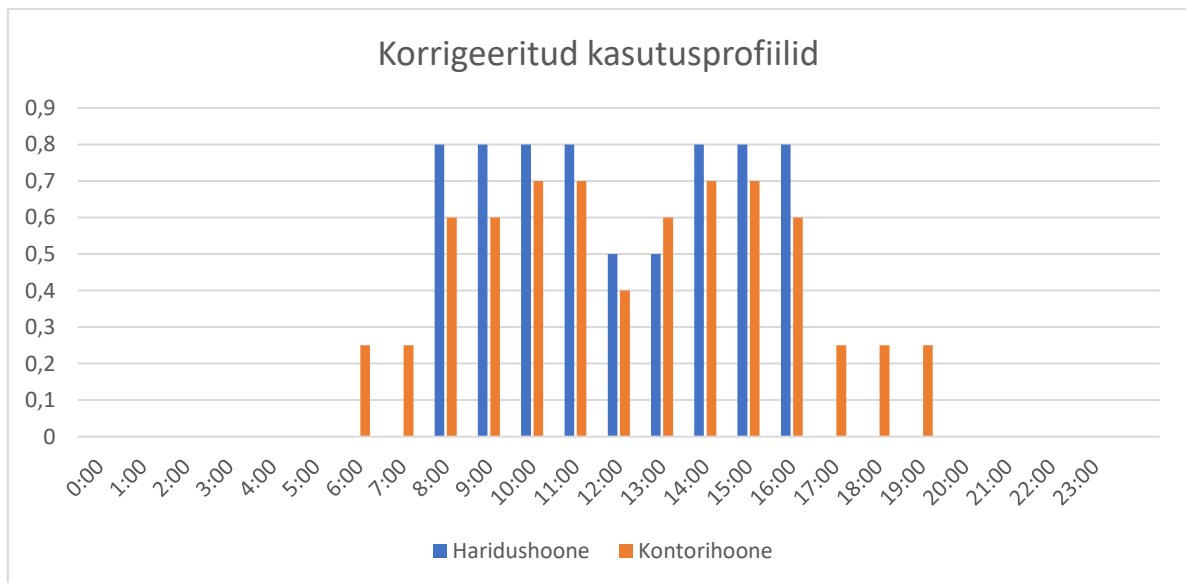
0.korrusel suure tsooni moodustab parkla. 1. korrusel tsoneerimine lähtub erinevatest fassaadidest, ruumide kasutusest, ventilatsiooniagregaatidest. 2. korrus on lahendatud samasuguse põhimõttega nagu 3. korrus, kuid eraldi tsooni moodustab suur auditoorium. 4. korruse ja 5. korruse tsoneerimine on samasuguse põhimõttega. 6. korruse tsoonid on tehtud ruumi sarnase kasutustüübi järgi.

Hoones on ka tsoonid, mis läbivad kõiki korruseid. Nendeks on trepikojad. Samuti igal korrusel on eraldi tsoonideks ruumid, milles vähemalt üks seintest puutub kokku siseõuega (Joonis 17). Kokku mudelis on 56 erinevat tsooni.



Joonis 17 Õppehoone SOC 3.korruse tsoonide jaotus

Õppetöö hoones toimub septembrist juunini. Suvekuudel õppetööd ei toimu, ruume kasutatakse ainult ülikoolisestest organisatsioonide poolt. Kontoriruumide kasutatavus on aastaringne, kuid suvekuudel on see väiksema koormusega, kuna puhkused jäävad pigem suvekuudele. Ruumide kasutamise kohta on koostatud profiilid, mis on võetud energiatõhusus metoodikast büroo- ning haridushoonetele ning on korrigeeritud vastavalt reaalsele kasutusele (Joonis 18). Korrigeerimisandmed on saadud elektrikasutamise mõõtmistest.



Joonis 18 Korrigeeritud õppehoone SOC kasutusprofiilid

Hoonest on koostatud 3D mudel. Mudeli piirdetarindite puhul on arvesse võetud põhilised välispiirete lõiked. Tarinditüübi sisestamisel on lähtutud projektis esitatud materjalikihtide paksustest, materjali tootjate poolt esitatud soojusjuhtivuse väärtusest. Õppehoone SOC konstruktsioonide parameetrid mudelis on toodud välja tabelis 7. Samuti on leitud vastavalt projektile sarnased aknad ning lisatud seejärel mudelisse. Akende parameetrid on toodud välja tabelis 11.

U aken, W/(m²K)	U raam, W/(m²K)	U, W/(m²K)	Varjutegur g
1,4	2	1,46	0,33

Tabel 11 Õppehoone SOC akende parameetrid mudelis

Õppehoone SOC külmasillad mudelis on toodud välja tabelis 12.

Külmasillad	Väärtus, W/(mK)
Välissein / vahelagi	0,100
Välissein / sisesein	0,037
Välissein / välissein	0,128
Aknad	0,244
Katus / välissein	0,258
Väline plaat / välissein	0,572
Väline plaat / sisesein	0,034
Katus / sisesein	0,033
Välissein / sisenuk	-0,072
Katus / välissein, sisenuk	0,009
Väline plaat / välissein, sisenuk	-0,006

Tabel 12 Õppehoone SOC külmasillad mudelis

3.2.1 Ventilatsiooni kalibreerimine mudelis

Tsoonidesse on lisatud tsoonidele vastavad ventilatsioonisüsteemid koos tegeliku õhuvooluhulga ning kasutusajaga. Vooluhulk on võetud projekti joonistest ja kasutusaeg on võetud automaatikasüsteemist.

Juunis lülitakse ventilatsioon välja üheks nädalaks ja erandina jääb tööle 307 ventilatsioonimagregaat ½ režiimil. Detsembrist kuni jaanuarini lülitakse ventilatsioon umbes kaheks nädalaks välja ja erandiks jääb tööle 307 ventilatsioonimagregaat ½ režiimil.

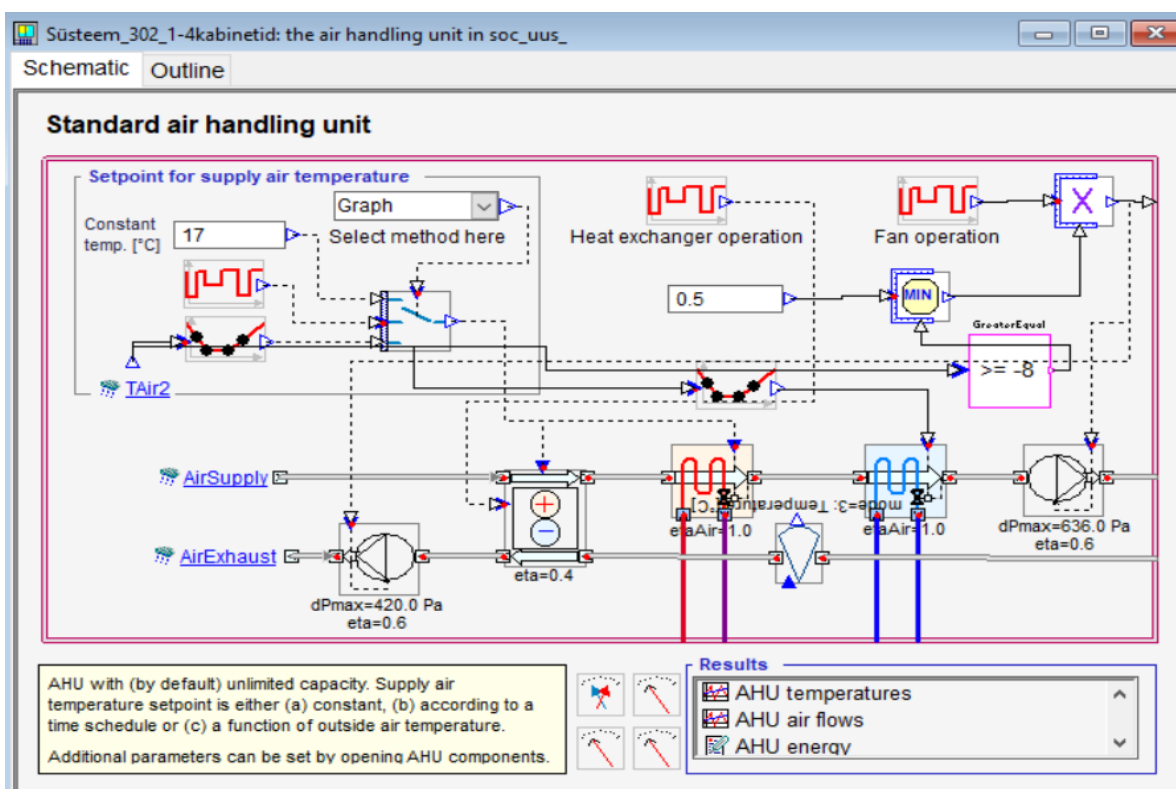
Igale ventilatsioonisüsteemile on lisatud vastav SFP väärtus. Mudelisse on lisatud ventilatsioonisüsteemi sissepuhke temperatuuri graafikud, mis on saadud hooneautomaatikast.

Igal ventilatsioonisüsteemil on olemas kindel temperatuur, millal ventilaatorid hakkavad töötama 1/2 režiimil (Tabel 13).

Süsteemi nr	Temperatuur, °C
302	-8
303	-6
304	-6
305	-6
306	-6
307	-12

Tabel 13 Ventilatsioonisüsteemide temperatuurid, millal ventilaatorid hakkavad töötama 1/2 režiimil

Mudelisse on lisatud vastavad temperatuurid (Joonis 19). Mudelisse on sisestatud igale ventilatsioonisüsteemile graafik, mis arvutab iga süsteemi seadearvu ventilatsiooni sissepuhke temperatuuri graafiku järgi (Joonis 19).



Joonis 19 Ventilatsioonisüsteemi nr 302 skeem simulatsioonitarkvaras IDA ICE

Mudelisse lisati 100% avatuse ja teadmata % avatuse vooluhulkade suhte graafik VAV-klappiga süsteemile 305 (Joonis 5) ning jaotati vooluhulk vastavalt projekti joonistele teenindavate tsoonide vahel.

3.2.2 Vabasoojuste kalibreerimine mudelis

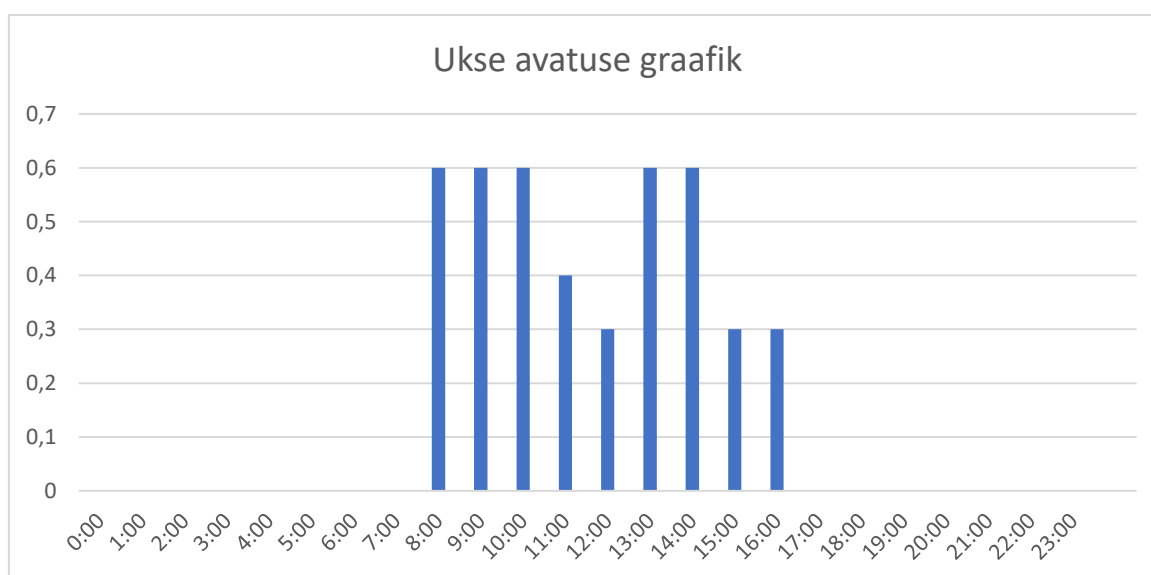
Mudelisse on lisatud prn-fail seadmete alla, kus on elektrienergia tarbimine, mis on tõlgendatud kui õppehoone SOC vabasoojuste tarbimine. Lähemalt on kirjutatud faili koostamisest metoodika peatükkis.

Parklas asuvad lisaks serverite jahutuskompressorid. Nende soojuseraldus on võrdne serverite jahutusvõimsuse ja kompressori elektrivõimsuse summaga. Saadud tulemus on jaotatud parkla pindala peale ja lisatud mudelisse tsooni seadmete alla. Parkla valgustuseks on pandud 10 kW, mis on jaotatud parkla pindala peale, ning see on pidevalt sees.

3.2.3 Kütte kalibreerimine mudelis

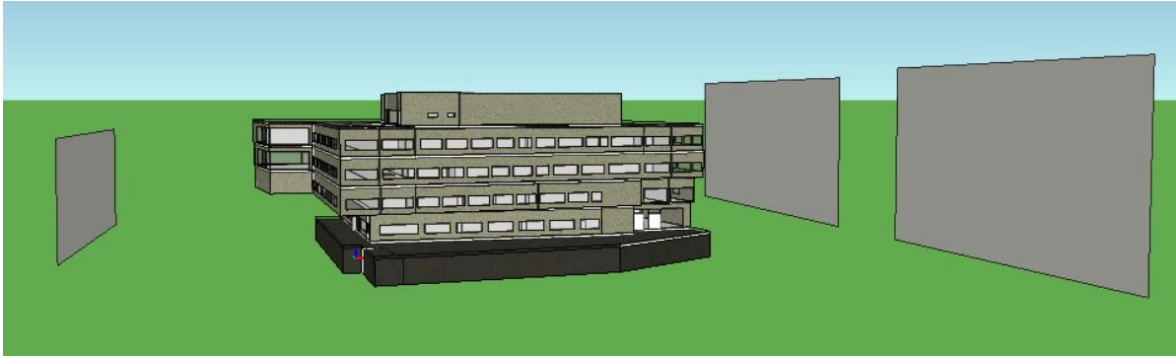
Mudelisse on lisatud ideaalsed küttekehad tsoonidesse, kus toimub kütmine. Tsoonide temperatuurid on korrigeeritud iga tsooni sättepunktide all.

Mudelisse on lisatud ka hoonele vastav infiltratsioon. Õhulekkearvuks on võetud 6. Hoonel on olemas veel õhkkardinad tuulekodades ning parklas, et tagada ka nende tööd, tuulekodades asuvatele välisustele on lisatud avamisgraafikud (Joonis 20).



Joonis 20 Ukse avatuse graafik

Lisaks 3D mudelisse on lisatud ümbritsevad hooned, mis tekitavad hoonele varju ja suurendavad küttevajadust. Lisatud on raamatukogu hoone, NRG õppehoone ning Akadeemia tee 5 ühiselamu (Joonis 21).



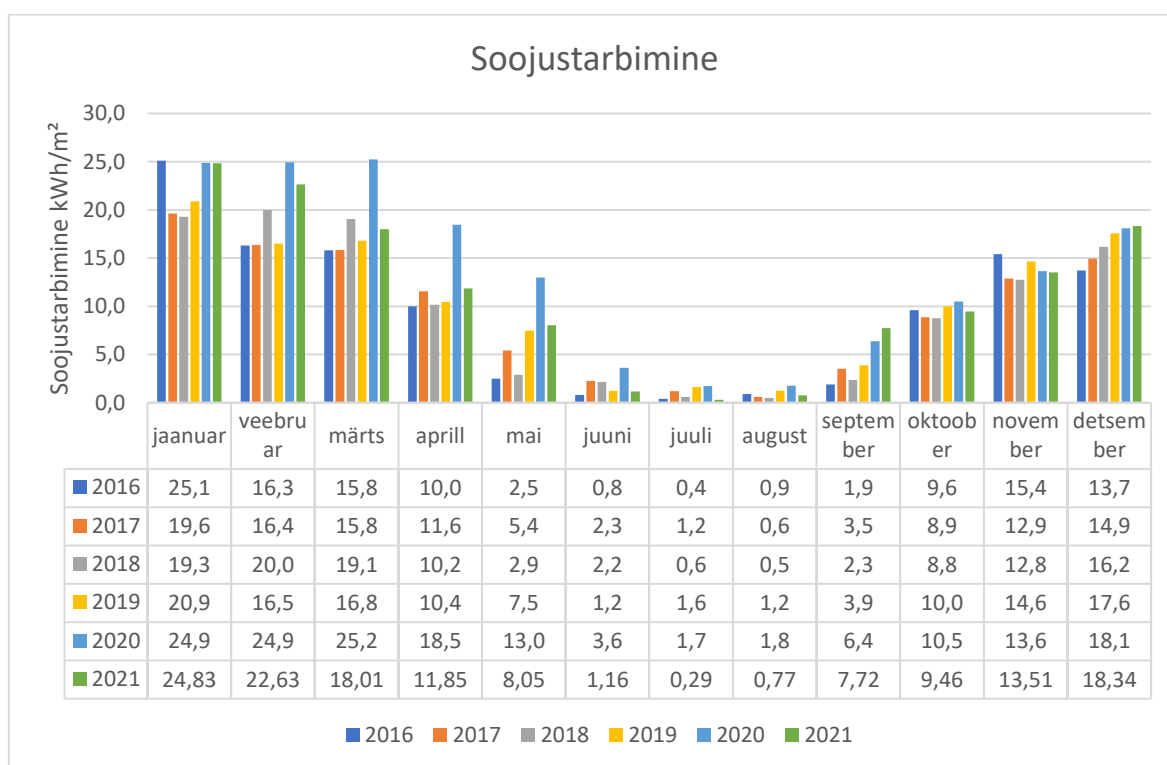
Joonis 21 Õppehoone SOC ümbritsevad hooned simulatsioonitarkvaras IDA ICE

4 TULEMUSED

4.1 Tarbimisandmed

Tegelikud tarbimisandmed on saadud arvestitelt (kogu soojus, kogu elekter, eraldi köögi alamarvesti, eraldi küttegaablite alamarvestid). Andmed on aastast 2016 kuni 2021 aastani.

4.1.1 Soojustarbimine



Joonis 22 Õppehoone SOC 2016–2020 aastate soojustarbimine

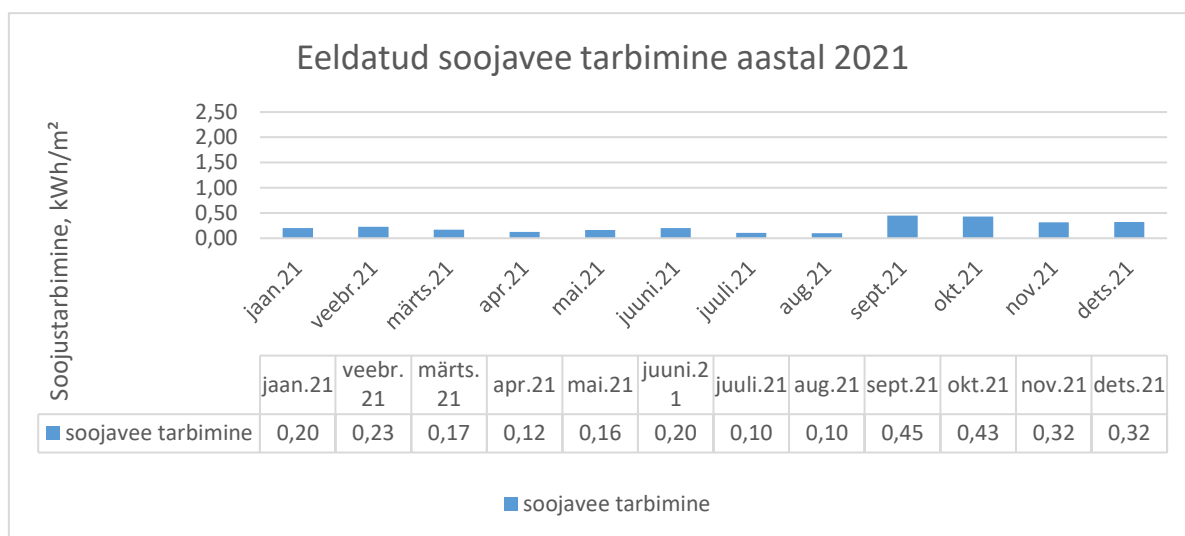
Hoone soojustarve on suhteliselt suur. Näiteks, kui vaadata 2019 aastat, mis oli enne eriolukorra kuulutamist, siis suurim tarbimine aastal 2019 toimus jaanuaris 20,9 kWh/m² ja vähim tarbimine juunis ning augustis 1,2 kWh/m². 2019 aasta kogu soojustarbimine oli 122,3 kWh/m². 2020 aasta suurim tarve oli märtsis 25,2 kWh/m². Väikseim tarbimine aastal 2020 toimus juulis 1,7 kWh/m². 2020 aasta kogu soojustarbimine oli 162,2 kWh/m². 2021 aastal kõige suurem soojustarbimine toimus jaanuaris 24,8 kWh/m² ning väikseim tarbimine toimus juulis 0,3 kWh/m². 2021 aasta kogu soojustarbimine oli 136,6 kWh/m².

Kui võrrelda kõigi aastate märtsikuud, siis on näha, et 2020 aasta märtsi tarbimine oli suurim. Sellist tarbimist põhjustas Eestis kuulutatud välja eriolukord, millal ülikool suundus täielikult distantsõppele kuni sügissemestri alguseni. 2020 aasta sügissemestril

kehtis ülikoolis hübriidõppe, mis omakorda mõjutas soojustarbimist. Samuti näitab ka seda kogu aasta soojustarbimine. 2020 aastal oli see kõige suurem. Kui võrrelda 2019 aastaga, siis 2020 aastal soojustarbimine oli 39,9 kWh/m² võrra suurem. Kui võrrelda 2021 aastaga, millal oli ülikoolis hübriidõppe, siis 2020 aasta soojustarbimine oli 25,6 kWh/m² võrra suurem. Lisaks vabasoojustele mõjutas soojustarbimist ka väliskliima.

Kogu hoone soojustarbimine jaotub kolmeks: soe tarbevesi, ventilatsiooni küte ning radiaatorid. Erinevates allikates on öeldud, et sooja tarbevee kütmise protsent kogu hoone vee tarbimisest moodustub 20-40% [13]. Antud töös esialgseks protsendiks on võetud 35% kogu hoone vee tarbimisest.

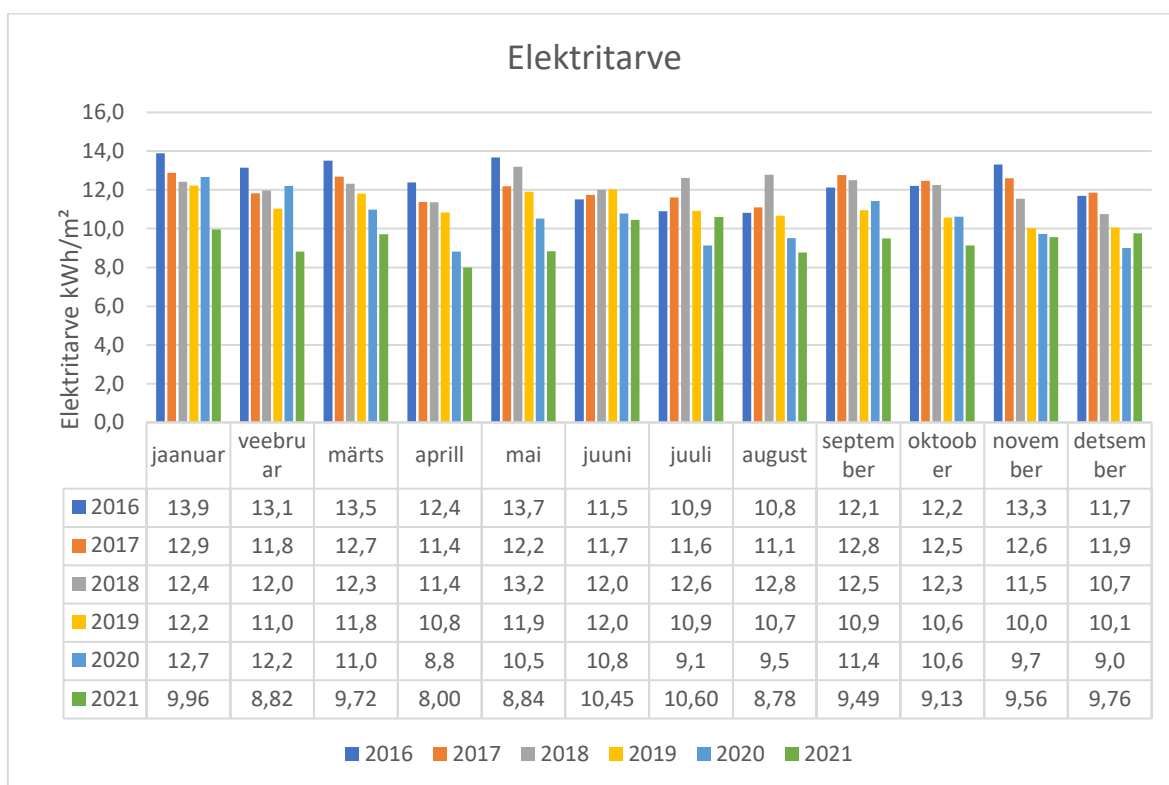
Vee tarbimise andmed on saadud kuupmeetrites iga kuu kohta arvestitelt. Seejärel on leitud 35% vee kogusest ning teisendatud liitritesse. Et leida, palju kulub soojust sooja tarbevee kütmiseks, on veekogus korrutatud läbi vee erisoojuse ja temperatuuride vahega (45 °C). Temperatuuri vahe on saadud temperatuurist, milleni tuleks soojendada vett (50 °C), ning külma vee temperatuurist (5 °C). Seejärel saadud arv jagatakse 3 600 000 ja saadakse vastus kWh, mis jagatakse hoone pindalaga. Saadud tulemused on väljatoodud joonisel 23.



Joonis 23 Õppehoone SOC 2021 aasta soojustarbimine soojale veele

Jooniselt 23 on näha, et 2021 aasta soojustarbimine soojale veele aasta alguses oli väiksem kui aasta lõpus, sest ülikoolis oli hübriidõppe. Juulikuus ning augustikuus on kõige väiksem tarbimine. Kõige suurem tarbimine jääb aga septembrikuusse. 2021 aasta kogu soojustarbimine soojale veele on 2,81 kWh/m².

4.1.2 Elekritarbimine



Joonis 24 Öppehoone SOC 2016-2020 aastate elekritarbimine

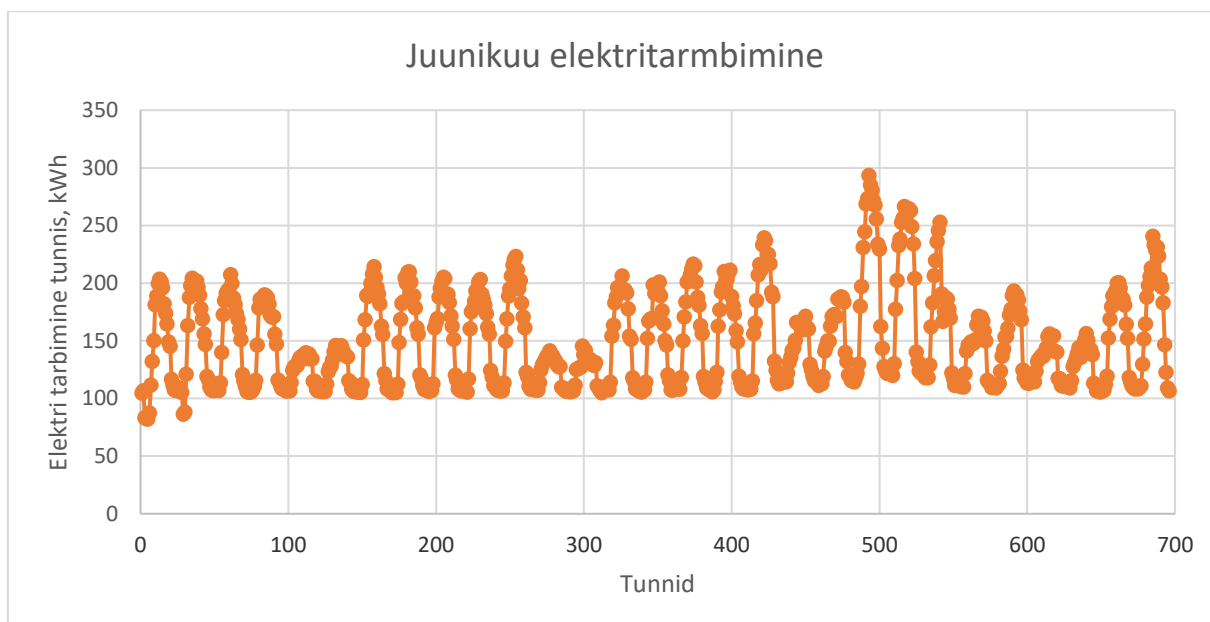
Jooniselt 24 on näha, et öppehoone SOC tarbib väga palju elektrienergiat. Aasta jooksul elekritarbimine on üsna ühtlane. 2019 aasta kõige suurem tarbimine toimus jaanuaris 12,2 kWh/m² ja väiksem novembris 10,0 kWh/m². 2019 aasta kogu elekritarve on 133,0 kWh/m². Kui vaadata eraldi aasta 2020, mis toimus suurel määral distantsõppel, siis elekritarbimise suurus muutub väiksemaks alates märtsist, millal kuulutati välja riigis eriolukord. Kõige suurem elekritarbimine toimub endiselt jaanuaris 12,7 kWh/m² ja kõige väiksem aprillis 8,8 kWh/m². 2020 aasta kogu elekritarve on 125,4 kWh/m². 2021 aasta suurim tarbimine oli juulis 10,60 kWh/m² ning väiksem aprillis 8,0 kWh/m². 2021 aasta kogu elekritarve on 113,1 kWh/m².

4.1.3 Baastarbimine

Analüüsidest arvesti näitusid 01.06.2021-30.06.2021, mis olid tunnise sammuga, selgus, et öppehoonel SOC on elektri baastarbimine. Baastarbimise suuruseks on 106 kWh (Joonis 25).

Teadaolevad baastarbijad on serverid, parkla valgustus, köök ning öppehoone NRG ja raamatukogu hoone. Serverid tarbivad 28,21 kWh elektrit. Parkla valgustus tarbib 10 kWh elektrit. Öppehoone NRG ja raamatukogu hoone tarbivad pidevalt 10 kWh elektrit.

Köögi baastarbimine on 3 kWh. Kokku tarbivad teadaolevad tarbijad 51,21 kWh elektrit. Teadaolevate tarbijate elektritarve protsent kogu baastarbimisest on 48%. Teadmata tarbijate elektritarve protsent kogu baastarbimisest on 52%. Sinna võivad kuuluda sellised tarbijad nagu õhkkardinad, valvekaamerad, Wi-Fi ja veel teised tarbijad, mida tuleks välja uurida.



Joonis 25 Õppehoone SOC juunikuu elektritarbimine

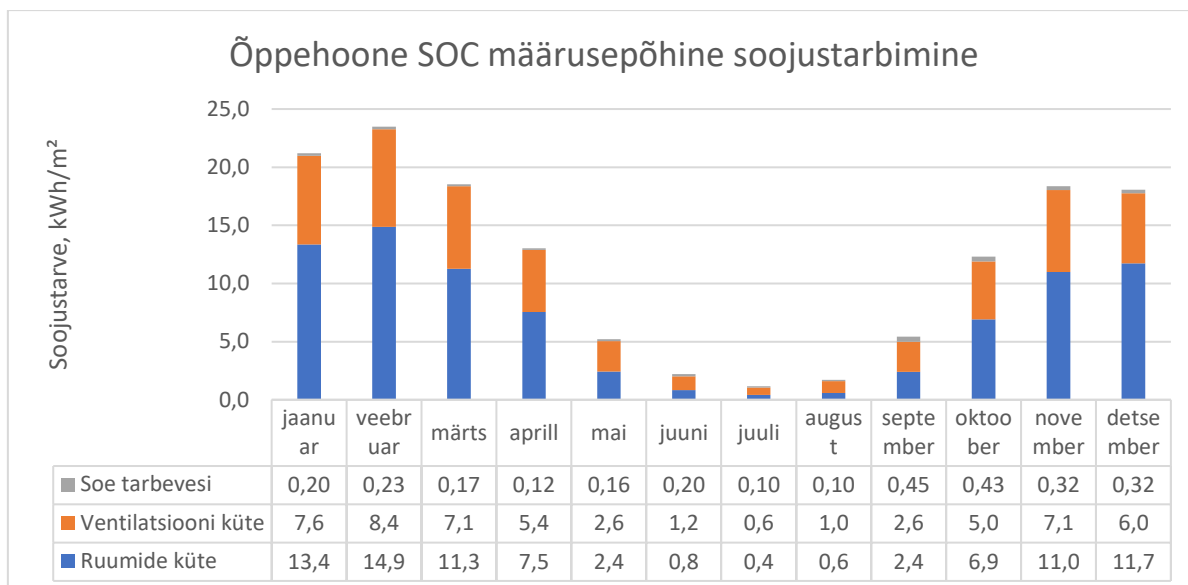
4.2 Simulatsioonitulemused ja analüüsid

Siin peatükis kirjeldatakse saadud simulatsioonitulemusi ja pakutakse kokkuhoiumeetmeid.

4.2.1 Määruse andmetega mudel

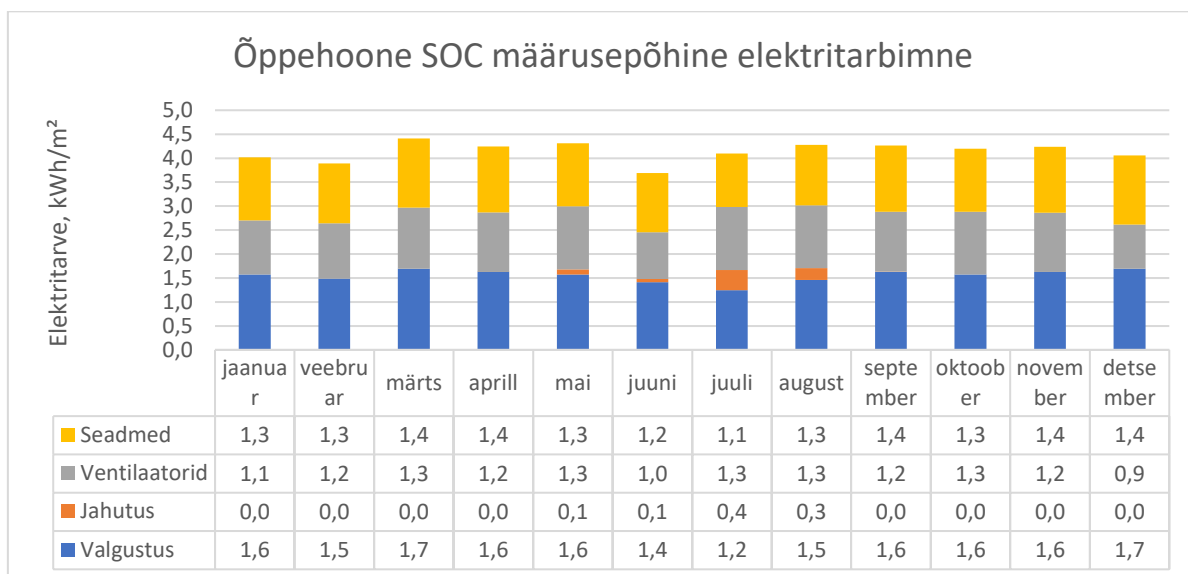
Määruse andmetega mudel on koostatud vastavalt standardkasutusele. Hoone kasutusajad ja vabasoojused on võetud hoone energiatõhususe arvutamise meetodikast (Tabel 5) ning lisatud seejärel mudeli vastavate tsoonidesse. Samuti mudelisse on lisatud kontorihoone ja haridushoone energiaarvutuse detailsed kasutusastmed ja kasutusprofiilid (Joonis 2).

Seejärel on viidud läbi simulatsioon baasaastaga ning saadud järgmised tulemused.



Joonis 26 Õppehoone SOC määrusepõhine soojustarbimine

Jooniselt 26 on näha, et suurim soojustarbimine toimub veebruaris 23,53 kWh/m² ning väikseim soojustarbimine toimub juulis 1,1 kWh/m². Kogu aasta soojustarbimine on 140,7 kWh/m².



Joonis 27 Õppehoone SOC määrusepõhine elektritarbimine

Määrusepõhine elektritarbimine on üsna võrdne igal kuul. Suurim elektritarbimine toimub märtsikus 4,4 kWh/m² ning kõige väiksem elektritarbimine toimub juunis 3,7 kWh/m². Kogu aasta elektritarbimine on 49,7 kWh/m².

Seejärel arvutati energiatõhususarv Valemiga 1 ning saadi:

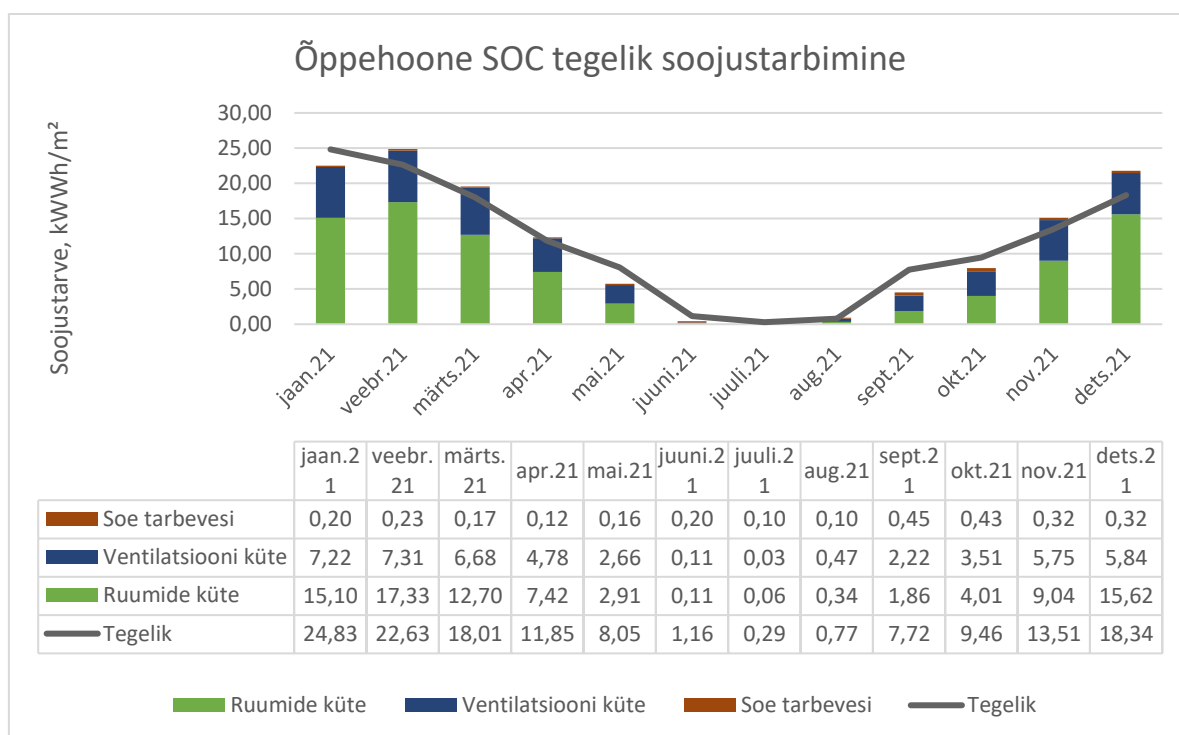
ETA= 228,44 kWh/(m²a).

Autori arvutustest lähtuvalt, kuulub õppehoone SOC kontorihoone Tabel 2 välja toodud energiatõhususarvu klassi skaala järgi energiaklassi „E” ning haridushoone Tabel 3 välja toodud energiatõhususarvu klassi skaala järgi energiaklassi „E”.

4.2.2 Tegelike andmetega mudel

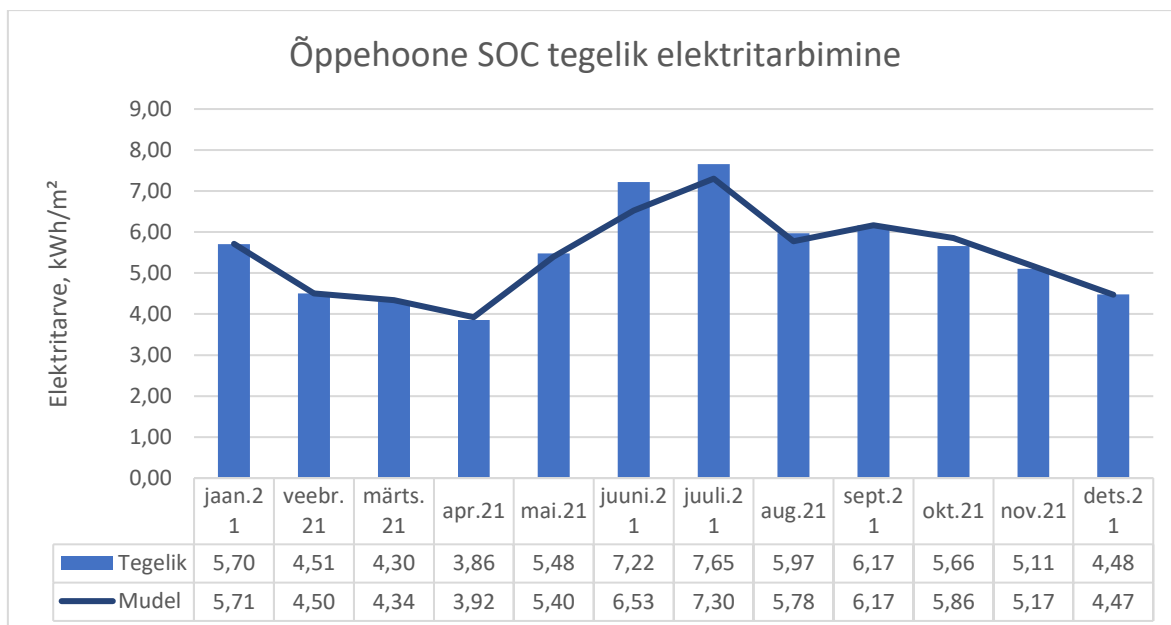
Simulatsioonitarkvaras IDA ICE on kalibreeritud õppehoone SOC mudel. Mudeli kalibreerimine on kirjeldatud peatükis 3.2. Kalibreerimine toimus 2021 aasta andmetega.

Kalibreerimistulemused on toodud joonisel 28 ja joonisel 29. Joonisel 28 on näidatud õppehoone SOC tegeliku ja mudeldatud soojustarbimise võrdlus. Tegeliku ja mudeldatud soojustarbimise aastane erinevus on 2%. Kuine soojustarbimise erinevus võib seisneda selles, et pole teada 52% elektri baastarbimisest. Selle tõttu ilmselt ka vabasoojused ei jaotu ühtlaselt mudelis ja see põhjustab erinevusi soojustarbimises kuude lõikes.



Joonis 28 Õppehoone SOC tegelik ja mudeldatud soojustarbimine

Joonisel 28 on näidatud tegeliku ja mudeldatud elektritarbimise vahe. Tegelikust tarbimisest on maha võetud tarbijad, mis ei kuulu standardkasutuse energiabilansi sisse. Tegeliku ja mudeldatud elektritarbimise aastane erinevus on 1%.



Joonis 29 Õppehoone SOC tegelik ja mudeldatud elektritarbimine

Seejärel arvutati energiatõhususarv Valemiga 1, kus arvestati kogu hoone elektritarbimist, ning saadi:

$$\text{ETA} = 291,01 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}).$$

Autori arvutustest lähtuvalt, kuulub õppehoone SOC kontorihoone Tabel 2 välja toodud energiatõhususarvu klassi skaala järgi energiaklassi „F” ning haridushoone Tabel 3 välja toodud energiatõhususarvu klassi skaala järgi energiaklassi „F”.

Teiseks arvutati energiatõhususarv Valemiga 1, kus arvestati ainult neid elektritarbijaid, mis kuuluvad standardkasutuse energiabilansi sisse, ning saadi:

$$\text{ETA} = 248,48 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}).$$

Autori arvutustest lähtuvalt, kuulub õppehoone SOC kontorihoone Tabel 2 välja toodud energiatõhususarvu klassi skaala järgi energiaklassi „E” ning haridushoone Tabel 3 välja toodud energiatõhususarvu klassi skaala järgi energiaklassi „E”.

4.2.3 Kokkuhoiu meetmed

Õppehoone SOC elektri ning soojuste tarbimine on suur, seega autor on mõelnud välja erinevaid säästumeetmeid. Selleks autor on läbiviinud erinevad simulatsioonid tarkvaras IDA-ICE baasaasta kliimaga ja teinud vastavad arvutused.

Meede 1: serverite heitsoojuse ärakasutamine

Praeguses olukorras serverite heitsoojus suunatakse maa-alusesse parklasse. Heitsoojuse suuruseks on 9,33 kWh/m². Serverite heitsoojust saaks kasulikult ära kasutada. Nimelt juhtida serverite heitsoojus õppehoone SOC küttesüsteemi, kuid samas tõuseks parkla õhkkardinate kütmise vajadus.

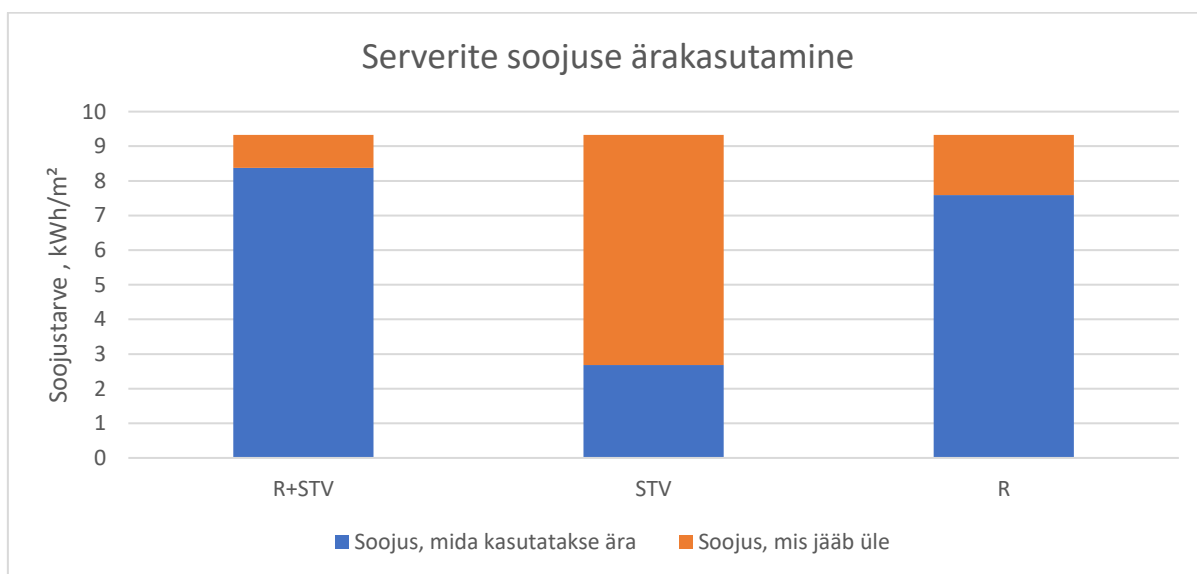
Meetme üheks eeliseks oleks see, et tsentraalne külmamasin kannaks soojust vastavasse süsteemi osasse kasutades väikest energiahulka. Samuti heitsoojust saaks ära kasutada, et parandada energiatõhusust. [14]

Meetme piiranguteks on aga see, et tuleks analüüsida heitsoojust, kas see oleks tõhus ära kasutamine või mitte. Samuti tuleks paigaldada uus süsteem ning tuleks korrektselt see seadistada. [14]

Autor on uurinud 3 erinevat varianti, kui palju saaks serverite heitsoojust ära kasutada õppehoone küttesüsteemis. Serverite heitsoojuse ära kasutamise võimalused on:

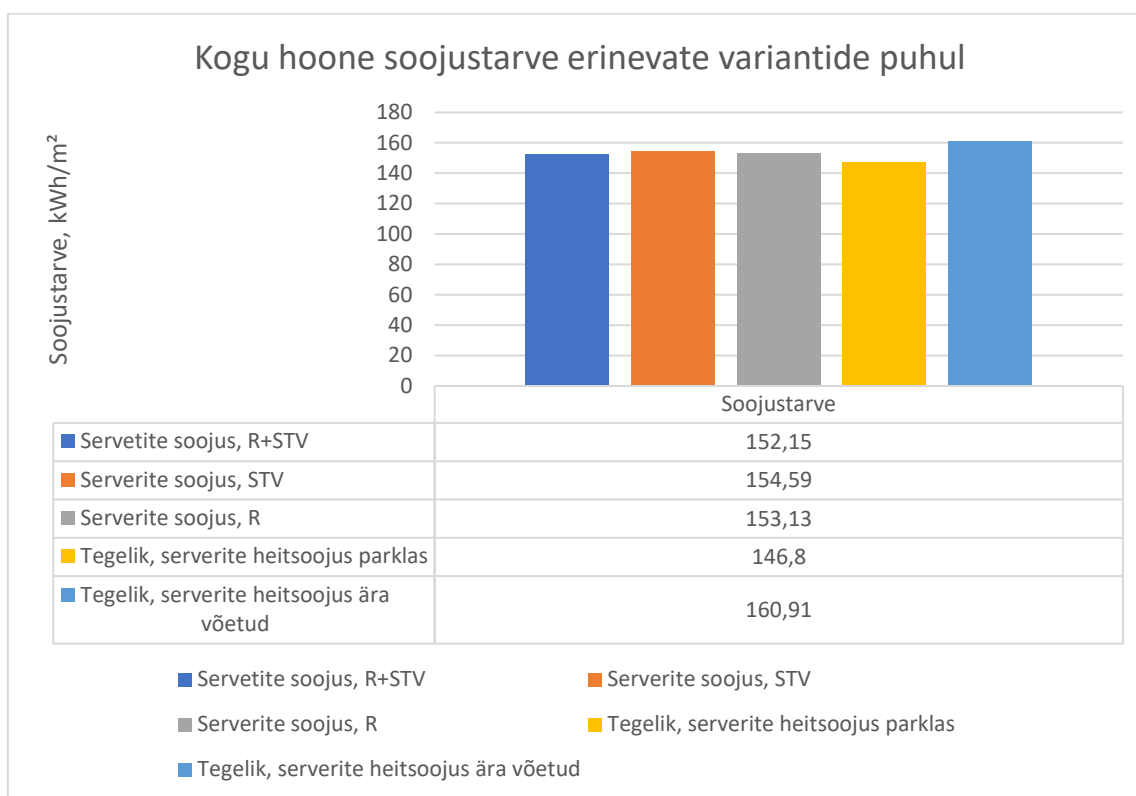
- radiaator- kui ka sooja tarbevee kütteks.
- ainult sooja tarbevee kütteks
- ainult radiaatorkütteks

Selleks autor analüüsis kütte- ja jahutuse üheaegsust. Selle puhul analüüsiti tunnikaupa kogu soojusvõimsust ning serverite koos potentsiaalse soojuspumba võimsust. Soojuspumba soojusteguriks võeti 3,5. Seejärel arvatati, kui palju heitsoojusest saaks ära kasutada soojusvajaduse vähendamiseks. Tulemused on näidatud joonisel 30.



Joonis 30 Serverite soojuse ärakasutamine

Kui juhtida serverite heitsoojus nii radiaator- kui ka sooja tarbevee küttesse, siis kasutatakse ära 90% serverite heitsoojusest. Kusjuures serverite heitsoojuse kasutamine on ainult siis, kui kogu hoone soojustarbimine on suurem serverite heitsoojusest. Vastasel juhul serverite heitsoojus jääb kasutamata. Serverite heitsoojuse ärakasutamine ainult sooja tarbevee kütteks on kõige väiksema kasumiga. Siis kasutatakse ära ainult 29% heitsoojusest. Kui heitsoojust kasutada ainult radiaatorkütteks, siis heitsoojuse kasutamise protsent on 81%.



Joonis 31 Kogu hoone soojustarve erinevate variantide puhul

Joonisel 31 on näha, kuidas muutub kogu hoone soojustarve serverite heitsoojuse kasutamisel. Väikseim soojustarve on siis, kui serverite heitsoojus juhitakse parklasse. Sellisel juhul parklas asuvate õhkkardinate töö on minimaalne. Kui aga serverite heitsoojus juhtida küttesüsteemi, siis kõige kasulikum oleks ära kasutada nii radiaator- kui ka sooja tarbevee kütteks. Kõige väiksem kasu on heitsoojuse ära kasutamisest ainult sooja tarbevee kütteks.

Elektrienergia tarbimine jääb samaks.

Serverite heitsoojuse juhtimine küttesüsteemi nõuab tsentraalse külmamasina paigaldamist. Samuti oleks vaja välja ehitada veetorustik. Ruumidesse tuleks paigaldada uued seadmed.

Serverite heitsoojus	ETA, kWh/(m ² a)	Tarbijad	Klass
Radiaator- kui ka sooja tarbevee kütteks	261,73	Standardkasutuse bilansi kuuluvad	Haridushoone „F“ Kontorihoone „F“
	304,26	Kogu hoone tarbijad	Haridushoone „F“ Kontorihoone „F“
Ainult radiaatorkütteks	262,64	Standardkasutuse bilansi kuuluvad	Haridushoone „F“ Kontorihoone „F“
	305,17	Kogu hoone tarbijad	Haridushoone „F“ Kontorihoone „F“
Ainult sooja tarbevee kütteks	264,00	Standardkasutuse bilansi kuuluvad	Haridushoone „F“ Kontorihoone „F“
	306,53	Kogu hoone tarbijad	Haridushoone „F“ Kontorihoone „F“

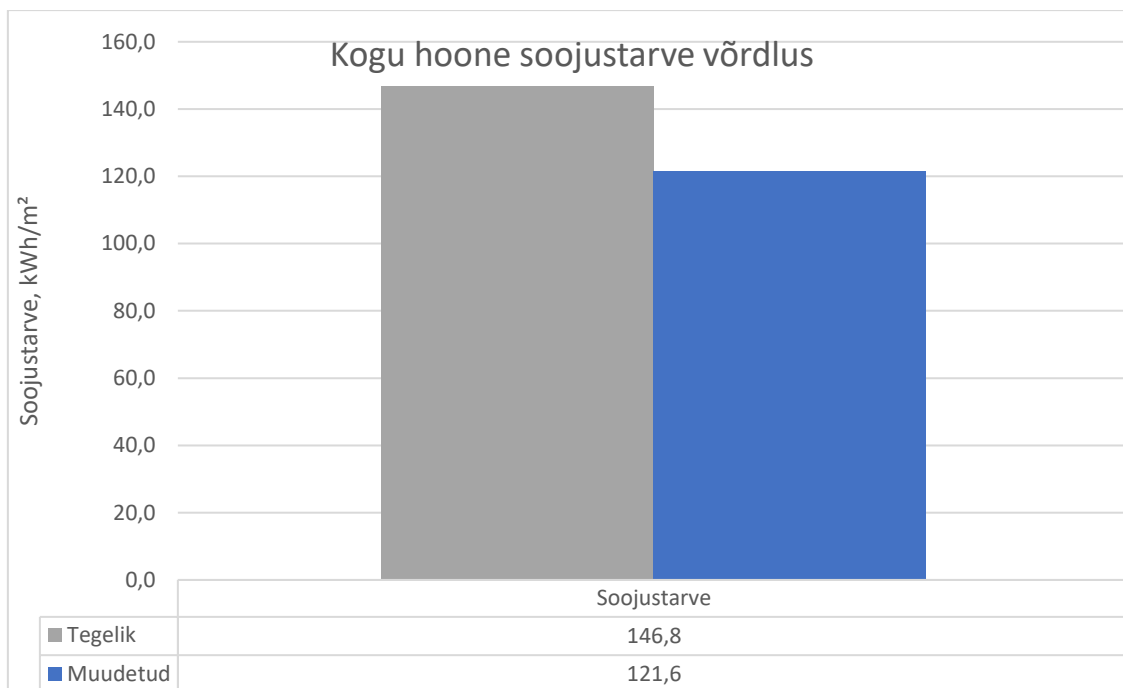
Tabel 14 ETA väärtused meede 1 kasutamisel

Meede 2: soojustagastite vahetus

Õppehoones SOC on 5 soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi. Nendest kolmel on rootor soojustagasti, aga 2 on vahesoojuskandjaga tagasti. Vahesoojuskandjaga tagasti kasutegur on kehvem kui rootoril. Mudelisse on sisestatud vahesoojuskandjaga tagastile 0,4 kasutegur ning rootorile on 0,75.

Kokkuhoiuks saaks vahetada vahesoojuskandjaga tagastid rootorite vastu. Kuna tegemist on uue soojustagastiga, siis mudelisse rootori kasuteguriks on sisestatud 0,85. Muudetud on ventilatsioonisüsteemid 302 ja 303.

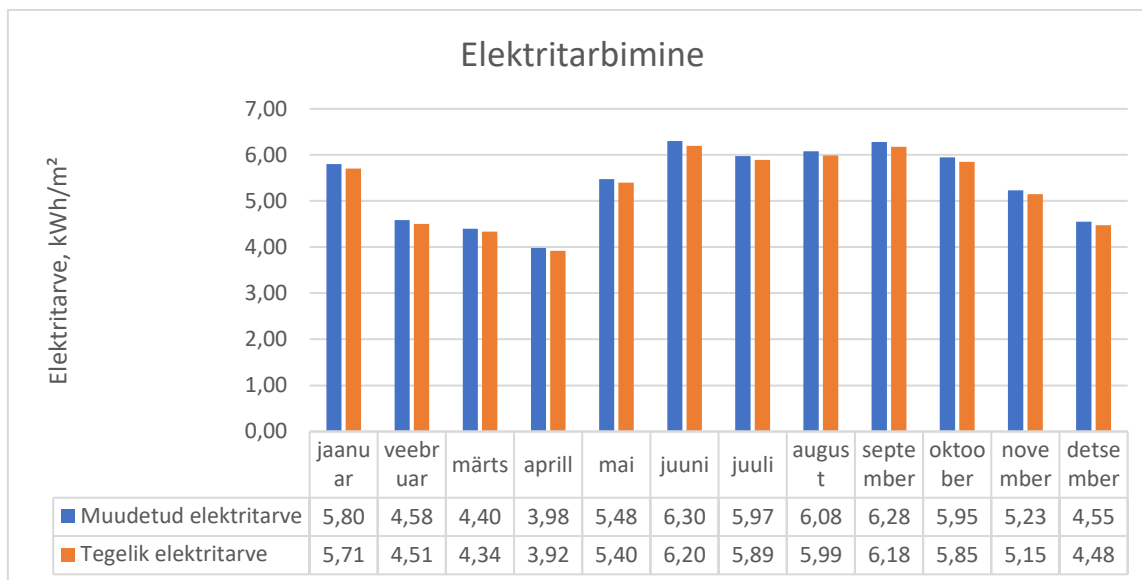
Köögis on eraldi ventilatsioonisüsteem ilma soojustagastusega. Seal on eraldi sissepuhke süsteem ning kaks väljatõmme. Üks väljatõmme teenindab söögisaali ning teine kööki. Mudelisse on tehtud uus soojustagastusega süsteem, kuhu on pandud plaatsoojustagasti kasuteguriga 0,85.



Joonis 32 Kogu hoone soojustarve võrdlus tegeliku ja muudetud olukorra vahel

Jooniselt 32 on näha, et soojustagastite vahetus säästab soojustarbimist. Kokkuhoiu protsendiks 15%.

Elektrienergia tarbimine natuke suureneb, kuna süsteemi takistus on keerukuse suurenemise tõttu suurem (Joonis 33)



Joonis 33 Õppehoone SOC elektritarbimise võrdlus meede 2 kasutamisel

ETA, kWh/(m ² a)	Tarbijad	Klass
233,27	Standardkasutuse bilansi kuuluvad	Haridushoone „E“ Kontorihoone „E“
275,81	Kogu hoone tarbijad	Haridushoone „F“ Kontorihoone „F“

Tabel 15 ETA väärtused meede 2 kasutamisel

Soojustagastite vahetus on reaalne ainult sel juhul, kui olemasolevad seadmed on omadega läbi. Enne seda pole mõtet vahetust teha, kuna õppehoone tehno ruumid on erinevaid seadmeid täis ning see meede nõuab ventilatsiooniseadmete täielikku vahetust.

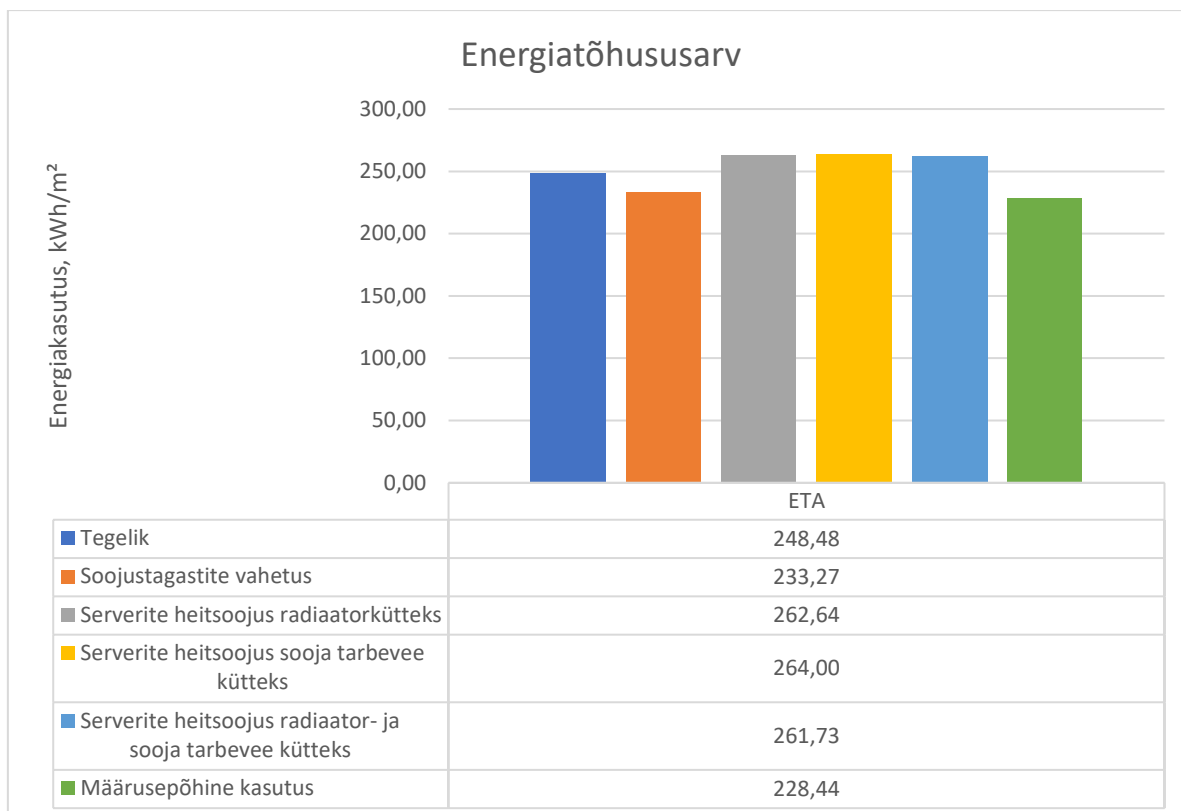
5 JÄRELDUSED

Soojustarbimine 2021 aastal oli 136,6 kWh/m² ning elektritarbimine oli 113,1 kWh/m². Elektrienergia analüüsimisel selgus, et õppehoonel SOC on 106 kW baastarbimine. Uuringu käigus sai välja selgitada ainult 48% baastarbimisest. Välja selgitatud baastarbijateks olid serverid, köök, parkla valgustus, NRG ja raamatukogu hoone. Baastarbimisest on teadmatuks jäänud 52%. Võib eeldada, et sinna kuuluvad õhkkardinad, valvekaamerad, Wi-Fi.

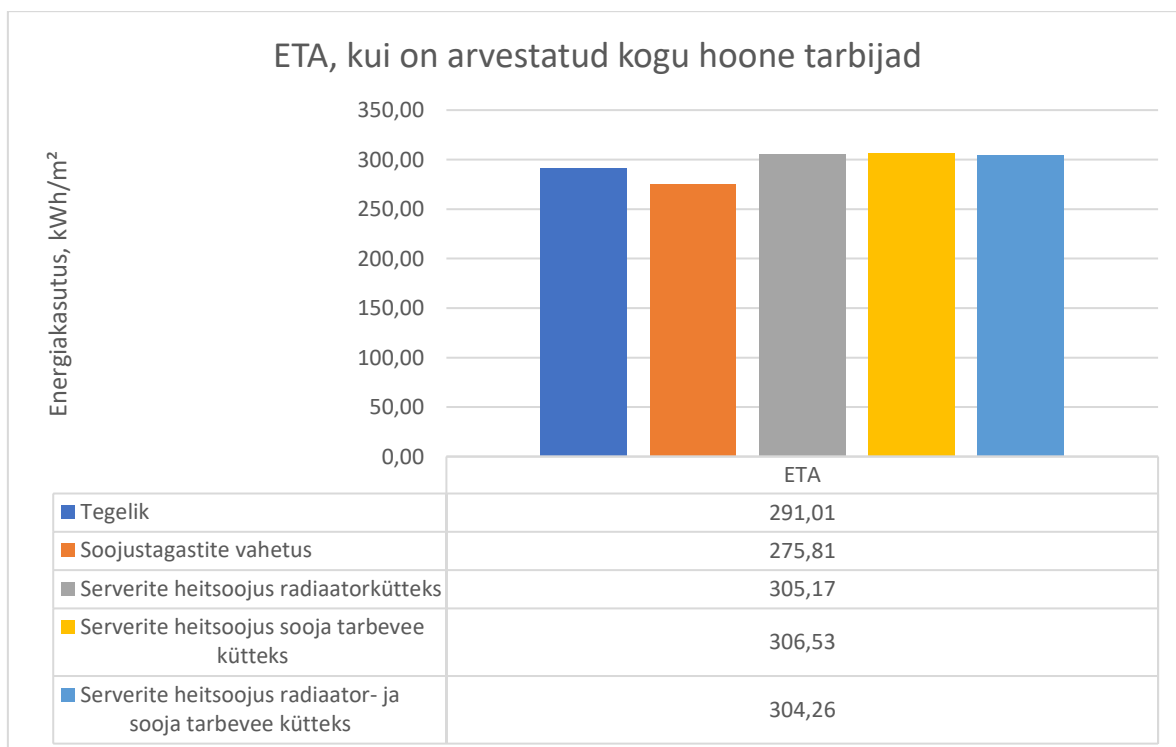
Kui võtta ette olukord, kus võetud arvesse ainult standardkasutuse energiabilansi sisse kuuluvad tarbijad, siis kõige efektiivsem kokkuhoiu meede oleks soojustagastite vahetus rootoriteks (Joonis 34). Sellisel juhul õppehoone SOC energiatõhususarv tuleb 233,27 kWh/(m²a). Hoone praegune tegelik energiatõhususarv on 248,48 kWh/(m²a). Seega saavutatav energiasääst on 15,21 kWh/(m²a).

Serverite heitsoojuse ärakasutamine tõstab energiatõhususarvu, kuna parkla õhkkardinate töö tõuseb, kui serverite heitsoojus sealt ära võtta. Kui aga tuleks serverite heitsoojust ära kasutada, siis kõige tõhusam viis oleks heitsoojuse juhtimine nii radiaator- kui ka sooja tarbevee kütteks. Selle kokkuhoiumeetme energiatõhususarv oleks 261,73 kWh/(m²a). Kõige väiksema kokkuhoiu tooks serverite heitsoojuse kasutus ainult sooja tarbevee kütmiseks. Sellisel juhul energiatõhususarv oleks 264,00 kWh/(m²a).

Kui õppehoonel SOC oleks määruspõhine kasutus, siis energiatõhususarv tuleks 228,44 kWh/(m²a). Määrusepõhine energiatõhususarv on 20,04 kWh/(m²a) võrra väiksem praegusest tegelikust energiatõhususarvust.



Joonis 34 ETA, kus on arvestatud standardkasutuse energiabilansi kuuluvad tarbijad
 Kui võtta ette olukord, kus on võetud arvesse kogu hoone tarbijad, siis kõige efektiivsem kokkuhoiumeede oleks samuti soojustagastite vahetus (Joonis 35). Sel juhul energiaõhususarvuks tuleks 275,81 kWh/(m²a). Kõige kehvema tulemuse näitab serverite heitsoojuse kasutus sooja tarbevee kütteks 306,53 kWh/(m²a).



Joonis 35 Energiaõhususarv, kus on arvesse võetud kõik tarbijad

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli analüüsida ja võrrelda TalTechi linnaku õppehoone SOC reaalsed energiatarvet määrusepõhise energiatarbega. Selleks luuakse hoone mudel simulatsioonitarkvaras IDA-ICE. Teiseks eesmärgiks on koostada õppehoone tegeliku energiatarbimise detailne aastane bilanss. Seejärel pakkuda välja õppehoone energiasäästu võimalusi.

Õppehoone SOC energia tarbimine on suur. Näiteks soojustarbimine 2021 aastal oli 136,6 kWh/m² ning elektritarbimine oli 113,1 kWh/m². Õppehoone SOC kuulub kogu tarbimisega kontorihoone ning haridushoone puhul energiatõhususarvu klassi „F”. Hoonel on standardkasutuse energiabilansi väliseid tarbijaid nagu serverid, köök, sulatuskaablid. Ilma nendeta kuulub õppehoone SOC energiatõhususarvu klassi „E”. Määrusepõhine energiatõhususarv on 20,04 kWh/(m²a) võrra väiksem tegeliku energiatõhususarvust.

Elektrienergia analüüsimisel selgus, et õppehoonel SOC on 106 kW baastarbimine. Uuringu käigus sai välja selgitada ainult 48% baastarbimisest. Välja selgitatud baastarbivateks olid serverid, köök, parkla valgustus, NRG ja raamatukogu hoone. Baastarbimisest on teadmatuks jäänud 52%. Võib eeldada, et sinna kuuluvad õhkkardinad, valvekaamerad, Wi-Fi. Kuigi see vajab veel täpsemat uuringut, missugused tarbijad võiksid sinna veel kuuluda.

Hinnatud on kaks erinevat kokkuhoiumeedet. Üheks meetmeks on serverite heitsoojuse juhtimine küttesüsteemi. Serverite heitsoojuse suuruseks on 9,33 kWh/m². Võrreldud on kolm erinevat varianti serverite heitsoojuse juhtimine: ainult radiaatorkütteks; ainult sooja tarbevee kütteks; radiaator- ja sooja tarbevee kütteks. Kui juhtida heitsoojus nii radiaator- kui ka sooja tarbevee kütteks, siis kasutatakse ära 90% serverite heitsoojusest. Heitsoojuse juhtimine ainult radiaatorkütteks kasutaks ära 81% serverite heitsoojusest. Kui juhtida ainult sooja tarbevee kütteks, siis serverite heitsoojuse kasutamise protsent oleks ainult 29%. See meede nõuaks tsentraalse külmamasina paigaldamist, veetorustiku ehitamist ning uute ruumiseadmete paigaldamist.

Teiseks meetmeks on soojustagastite vahetus rootoriteks. Uuritud on vahesoojuskandjaga tagasti vahetus rootoriteks ning köögi ventilatsioonisüsteemi ümbertegemine soojustagastusega süsteemiks, kuhu on paigaldatud plaatsoojustagasti. Sellisel juhul soojustarbimise kokkuhoiu protsent oleks 15%. See meede eeldaks uute ventilatsioonisüsteemide ehitamist.

Need meetmed annavad üsna väikese kokkuhoiu protsendi ning ei tõsta hoone energiatõhususarvu klassi. Sellise hoone puhul nagu õppehoone SOC tuleks pigem tegeleda piirete rekonstrueerimisega, kuna hoone on ehitatud 2009 aastal. See säästaks rohkem soojustarbimist. Elektritarbimise säästmiseks tuleks välja selgitada kõik baastarbijad ning viia osa või terve elektritarbimine päikesepaneelide peale.

SUMMARY

The aim of this master's thesis was to analyze and compare the real energy consumption of the TalTech campus study building with the regulation-based energy consumption. To do this, a building model is created in the simulation software IDA-ICE. The second thesis is to compile a detailed annual balance of the actual energy consumption of the study building. Then offer energy saving options.

The study building SOC energy consumption is high. For example, heat consumption in 2021 was 136,6 kWh/m² and electricity consumption was 113,1 kWh/m². The study building SOC belongs to the energy efficiency class „F“ for the office building and the academic building. The building has consumers outside the classic energy balance, such as servers, kitchen, defrost cables. Without them, the study building SOC belongs to the energy efficiency class „E“. The regulation-based energy efficiency number is 20,04 kWh/m² lower than the actual energy efficiency number.

Electricity measurement showed that study building SOC has a base consumption of 106 kWh. The study revealed only 48% of the base consumption. The base consumption users identified were the servers, the kitchen, the parking lightning, the study building NRG and the library. 52% of base consumption remained unknown. It can be assumed that it includes air curtains, security cameras, Wi-Fi. Although this requires further study as to which consumers can still be included.

Two different savings measures were evaluated. The first measure is the use of waste heat from servers in the heating system. Three different options for using waste heat from servers are compared: for radiator heating only; only for domestic hot water; for heating radiators and domestic hot water. If the waste heat is fed to both the radiator and the domestic hot water, 90% of the waste heat from the servers is used. If the waste heat is fed to the radiators, 81% of the waste heat from the servers is used. If the waste heat fed only domestic hot water, 29% of the waste heat from the servers is used. This measure would require the installation of a central refrigeration unit, the construction of water pipes and the installation of new room equipments.

The second measure is the exchange of heat exchangers for rotors. The Exchange of the heat exchangers into rotors and the conversion of the kitchen ventilation system have been studied. In this case, the percentage of heat consumption savings would be 15%. This measure would require the construction of new ventilation systems.

These measures provide a relatively small percentage of savings and do not increase the energy efficiency class of the building. In the case of a building such as the SOC study building, the reconstruction of the building should be considered, as the building was built in 2009. This would save more heat consumption. In order to save electricity, all base consumption users should be identified and some or all of study building SOC electricity consumption should be transferred to solar panels.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium „Hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia“ Tallinna Tehnikaülikool, 2020
- [2] Jarek Kurnitski, Targo Kalamees, Anti Hamburg, Kalle Kuusk, Tuule Mall Kull, Raimo Simson, Jevgeni Fadejev, Endrik Arumägi, Martin Kiil, Teet Tark „Hoonete arvutuslike energiamärgiste vastavus tegelikule tarbimisele“ Tallinna Tehnikaülikool, 2016
- [3] E. Pikas, M Thalfeldt, J. Kurnitski „Cost optimal and nearly zero energy building solutions for office buildings“ Energy and buildings, 2014
- [4] A. Engels „Elektritarbimise analüüs kahe büroohoone näitel Tallinnas Ülemiste Citys“ Magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool, 2019
- [5] J. Ivanov „Metalli tn 3 büroohoone lisainvesteeringu ja energiatõhususe analüüs“ Magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool, 2016
- [6] Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium. Hoonete energiatõhusus, 2019
- [7] Ettevõtlus- ja infotehnoloogiainister. Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. Määrus nr 63, Riigi Teataja, 2018
- [8] Targo Kalamees Madalenergia- ja liginullenergiahoonete kavandamine. Juhend büroo ja avalike hoonete tellijale. Kredex SA, 2012
- [9] Majandus- ja taristuminister. Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika, 2015
- [10] Ehitisregister. Ehitis ja dokumendid. Võrgumaterjal
- [11] J. Fadejev, R. Simson, J. Kesti, J. Kurnitski „Measured and simulated energy performance of OLK NZEB with heat pump and energy piles in Hämeenlinna“ E3S Web of Conferences 172, 16012 (2020)

[12] R. Männi „Tallinna Tehnikaülikooli U06 õppehoone sisekliima ja energiatõhususe analüüs“ Magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool, 2018

[13] Teet-Andrus Kõiv, Alvar Toode „Heat energy and consumption in Estonian apartment buildings“ Proc. Estonian Acad. Sci. Eng, 12, 1, 2006, 72-80

[14] Hussam Jouhara, Navid Khordehgah, Sulaiman Almahmoud, Bertrand Delpech, Amisha Chauhan, Savvas A. Tassou „Waste heat recovery technologies and applications“ Thermal Science and Engineering Progress 6, 2018, 268-289