



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Ehituse ja arhitektuuri instituut

**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOLI HOONETE  
ENERGIABILANSS JA SOOJUSENERGIA  
SÄÄSTUPOTENTSIAAL**

**ENERGY BALANCE AND THERMAL ENERGY SAVING  
POTENTIAL OF TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
BUILDINGS**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Karin Krauvärk  
Üliõpilaskood: 182181EAKI  
Martin Thalfeldt, kaasprofessor  
Juhendaja: tenuuris  
Sofia Vasman,  
doktorant-nooremteadur

Tallinn 2024

# 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.

“19” detsember 2024.

Autor: Karin Krauvärk

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“19” detsember 2024.

Juhendaja: Martin Thalfeldt

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Karin Krauvärk

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Tallinna Tehnikaülikooli hoonete energiabilanss ja soojusenergia säästupotentsiaal“, mille juhendajad on Martin Thalfeldt ja Sofia Vasman

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.

---

19.12.2024

---

<sup>1</sup> 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:** Karin Krauvärk 182181EAKI

Õppekava, peeriala: EAKI02/17 - Hoonete sisekliima ja veetehnika, hoone tehnosüsteemid ja energiatõhusus

Juhendaja(d): Martin Thalfeldt, kaasprofessor tenuuris, +372 6202 505

Sofia Vasman, doktorant-nooremteadur

### Lõputöö teema:

Tallinna Tehnikaülikooli hoonete energiabilanss ja soojusenergia säästupotentsiaal  
Energy balance and thermal energy saving potential of Tallinn University of Technology buildings

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. TalTech tehnosüsteemide energiatarbimise kaardistamine mõõdetud energiakasutuse põhjal.
2. Hoonete ventilatsioonisüsteemide parameetrite kirjeldamine.
3. Soojusenergia säästupotentsiaali esmane hindamine hoonete kaupa.

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Teemaga tutvumine, kirjanduse esialgse ülevaate koostamine.	22.09.2024
2.	Esialgse lähteülesande ning meetodika kirjelduse koostamine.	27.09.2024
3.	Täpsustatud lähteülesande, kirjanduse ülevaate ning meetodika lühikirjelduse esitamine.	27.09.2024
4.	Metoodika täpsustamine. Teoreetiliste aluste peatüki materjali kogumine, kirjutamine.	06.10.2024
5.	Hoonete energiabilansside koostamine.	13.10.2024
6.	Hoonete ning nende tehnosüsteemide andmete kogumine, parameetrite kirjeldamine.	20.10.2024
7.	Hoonete energiasäästupotentsiaali analüüs.	03.11.2024
8.	Metoodika kirjelduse täiendamine. Tulemuste vormistamine plakatile.	10.11.2024
9.	Eelkaitsmisele registreerimine.	11.11.2024
10.	Töö vormistamine, valmistumine eelkaitsmiseks.	17.11.2024
11.	Lõputöö ning postri esitamine eelkaitsmiseks	17.11.2024

12.	Tulemuste kirjalik vormistamine. Eelkaitsmise tagasiside alusel töö paranduste sisseviimine.	01.12.2024
13.	Järeldused, kokkuvõte, summary.	08.12.2024
14.	Lõputöö esitamine juhendajale.	13.12.2024
15.	Kaitsmistaotluse esitamine	16.12.2024
16.	Lõputöö lõplik esitamine.	19.12.2024

**Töö keel:** eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "19" detsember 2024.a

**Üliõpilane:** Karin Krauvärk /allkirjastatud digitaalselt/ "19" detsember 2024.a

**Juhendaja:** Martin Thalfeldt ..... "19"detsember 2024.a  
/allkiri/

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

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

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

EESSÕNA .....	9
1 SISSEJUHATUS .....	10
2 KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	11
3 METOODIKA.....	13
3.1 Uuritavad hooned.....	13
3.1.1 Hoonete ventilatsioonisüsteemid .....	15
3.2 Elektrienergia tarbimine .....	19
3.3 Soojusenergia tarbimine .....	20
3.4 Säästupotentsiaal.....	21
3.4.1 Ruumide kütteenergia säästupotentsiaal.....	21
3.4.2 Ventilatsiooniõhu kütteenergia säästupotentsiaal .....	23
4 TULEMUSED.....	27
4.1 Energiabilanss .....	27
4.1.1 Elektrienergia.....	27
4.1.2 Soojusenergia .....	31
4.2 Energiasääst.....	33
4.2.1 Hoonete kütte soojusenergia säästupotentsiaal .....	33
4.2.2 U04B hoone ventilatsiooniõhu kütteenergia säästupotentsiaali arvutus	36
4.2.3 Ventilatsiooniõhu kütteenergia säästupotentsiaal .....	42
4.2.4 Soojusenergia säästupotentsiaal.....	48
KOKKUVÕTE .....	51
SUMMARY.....	53
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	55
LISAD .....	56

## LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

EL – Euroopa Liit

TalTech – Tallinna Tehnikaülikool

KHG - kasvuhoonegaasid

BMS – (ingl k) *Building Management System* – hoonehaldussüsteem

Arvesti – Mõõtevahend tarbitud energia (nt. soojusenergia, elektrienergia) mõõtmiseks

PA – peaarvesti

AA - alamarvesti

## EESSÕNA

Magistritöö Teema on välja pakutud TalTechi Hoonete sisekliima ja veetehnika programmijuhi Martin Thalfeldti poolt. Töö eesmärk on TalTech hoonete energiabilansside koostamine ning soojusenergia säästupotentsiaali esmane hindamine. Uurimuseks vajalikud energia mõõtmistulemused ning ülejäänud kasutatud algandmed on tagatud Sofia Vasmani ning TalTech Kinnisvaraosakonna poolt.

Töö käigus koostati elektri- ja soojusenergiabilansid TalTech hoonetele. Analüüsiiti ruumide kütte soojusenergiatarvet ning hoonete soojuserikao alusel soojusenergia säästupotentsiaali. Uuriti hooneid teenindavaid ventilatsioonisüsteeme ning hinnati ventilatsiooniõhu soojendamise soojusenergia kulu ja selle säästupotentsiaali tõhusama ventilatsiooniseadme kasutamisel. Magistritöö valmimisele aitasid kaasa Martin Thalfeldt, Sofia Vasman ning Tallinna Tehnikaülikooli kinnisvaraosakond. Tänan kõiki osalisi magistritöö teostamisse panustatud aja eest.

Võtmesõnad: energiabilanss, ruumide küte, ventilatsiooniõhu soojendamine, sojuatagstid, magistritöö



# 1 SISSEJUHATUS

Euroopa Liidu kliima ja energiapoliitika on võtnud eesmärgiks minna üle konkurentsivõimelisele, vähese CO<sub>2</sub>-heitkogusega majandusele. Selle saavutamiseks on liikmesriikidele paika pandud ranged nõudmised kasvuhoonegaaside heitkoguse vähendamiseks. Kogu EL lõppenergiatarbimisest 40% tuleneb hoonete energiakasutusest, ning ainult 25% kasutusel olevatest hoonetest vastavad praeguste ehitusstandardite kohaselt energiatõhusa hoone nõuetele. [1] Seetõttu on olemasolevate hoonete renoveerimine suure tähtsusega. Olemasolevate hoonete energiakasutuse põhjalik analüüs, annab ülevaate energiakulu jaotumisest erinevate valdkondade vahel ning näitab millistele aspektidele tuleb renoveerimise juures kõige enam tähelepanu pöörata.

Tallinna Tehnikaülikool on võtnud eesmärgiks saavutada kliimanetraalse ülikoolilinnaku staatus aastaks 2035. Selle tarvis loodi 2024. aastal kliimanetraalsuse töögrupp, mille ülesanne on luua teekaart, mis paneb paika viisid, kuidas on ülikoolil võimalik jõuda mainitud eesmärgi täitmiseni. [2] Hetkel moodustab üle poole kogu TalTechi süsinikujalajäljest hoonete energiakasutus. [3] Selle vähendamiseks on esmalt tarvis täpsustada kuidas hoonete energiakasutus jaotub, mis on suurimad tarbijad. Seejärel on võimalik hinnata võimalikku energiasäästu.

Magistritöö eesmärk on jaotatud kolmeks. Esimeseks eesmärgiks on Tallinna Tehnikaülikooli hoonete elektri- ning soojusenergiabilansside koostamine. Teiseks on uuritavate hoonete ventilatsioonisüsteemide parameetrite kirjeldamine. Töö kolmas eesmärk on hoonete kütte ning ventilatsiooniõhu kütte soojusenergia säästupotentsiaali analüüs. Töö eesmärk ei ole pakkuda konkreetseid energiasäästu lahendusi vaid olemasolevate andmete põhjal tuvastada valimist suurima energiasäästupotentsiaaliga hooned, mis väärivad edasist põhjalikumat uurimist. Kasutatud meetodeid on võimalik rakendada ka muudele hoonegruppidele, eesmärgiga tuvastada valimist suurema energiasäästupotentsiaaliga hooned, sobides sealjuures ka üksikute hoonete võimaliku energiasäästupotentsiaali hindamiseks.

Töö raames koondatakse esmalt TalTech hoonete mõõdetud elektri- ning soojusenergia tarbimisandmed, mille põhjal koostatakse hoonete energiabilansid mõlema energiatüübi kohta. Seejärel kaardistatakse uuritavate hoonete andmed ja nende tehnosüsteemide parameetrid ning töögraafikud. Kaardistatud andmete ning hoonete soojusenergiatarbimise alusel analüüsitakse nende ruumide kütte ning ventilatsiooniõhu soojendamise energiasäästupotentsiaali.

## 2 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Värske Euroopa Liidu hoonete energiatõhususe direktiiv kirjeldab hoonefondi suuremahulise renoveerimise vajalikkust. 26% kõige halvema energiatõhususega mitteeluhoonetest tuleb renoveerida aastaks 2033 ning liikmesriikidel tuleb koostada riiklikud renoveerimiskavad.[1] Kui varasem määrus nõudis aastaks 2030 heitgaaside vähendamist 40% võrra [4], näeb direktiiv ette selle 55%-lise vähendamise. [1]

Hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia seab eesmärgiks enne 2000. aastat rajatud hoonete tervikrekonstrueerimise aastaks 2050, millega on võimalik saavutada lõppenergia tarbimise vähenemine 60%. Viimase viie aasta keskmine rekonstrueeritavate mitteeluhoonete maht on piisavalt suur, kuid strateegia eesmärgi täitmiseks on tervikrekonstrueerimise osakaal hetkel veel liiga väike. [5]

Helsinki ülikooli süsinikujalajälg aastal 2019 oli 77777 tCO<sub>2</sub>e, millest hoonetega seotud energiakasutus moodustas 48%, ehk 37333 tCO<sub>2</sub>e, millest omakorda 46% tulenes kaugküttest ning 38% elektri kasutusest. Aastaks 2035 on ülikoolil plaanis hoonetega seotud süsinikujalajälge vähendada 34000 tCO<sub>2</sub>e võrra. Lisaks süsinikuneutraalse kaugkütte ning elektri kasutamisele, plaanitakse suurendada ülikooli enda taastuvenergia tootmist, ehitades juurde päikeseelektrijaamu ning maaküttelahendusi. Samuti plaanitakse parendada olemasolevate süsteemide toimivust, muutes need seeläbi energiatõhusamaks. [6]

Tallinna Tehnikaülikooli kasvuhoonegaaside (KHG) jalajälje baasaasta inventuuri kohaselt oli aastal 2022 ülikooli süsinikujalajälg 27437 tCO<sub>2</sub>e, millest 66,8% moodustas hoonete energiakasutus. Sealhulgas 39,4% kogu KHG jalajäljest tulenes elektri kasutusest ning 9,4% soojusenergiakasutusest. [3]

Karpov on oma magistritöö raames uurinud Tehnikaülikooli linnakus asuva SOC hoone energiakasutust ning energiasäästu võimalusi. Ventilatsioonisüsteemide energiasäästuvariandina analüüsis Karpov ventilatsiooniagregaatide soojustagastite väljavahetamist efektiivsemate rootorsoojustagastite vastu ning plaatsoojustagastite lisamist hetkel soojustagastusega kõõgi ventilatsioonisüsteemidele. Analüüsitud lahendus tagaks 15% soojustarbimise kokkuhoiu. Lisaks pakkus autor energiasäästulahendusena välja serveriruumide jääksoojuse kasutamist hoone kütteks, kuid see suurendaks omakorda liiga palju parkla õhkkardinate energiatarbimist. [7]

Franco, Bartoli, Conti, Miserocchi ja Testi uurisid tehnosüsteemide optimeeritud juhtimismetoodikat, mis tagaks nii mugava sisekliima kui ka energiasäästu haridushoones. Pisa Ülikoolis katsetati dünaamiliste seadeväärtustega tehnosüsteemide juhtimisstrateegiat. Juhtimisel arvestati ruumide reaalse hõivatusega, mis leiti ruumide kasutuse monitoorimise abil ehk analüüsid  $CO_2$  taset ning selle muutumist. Tehnosüsteemide tööd juhitud kindla kasutusprofiili asemel vastavalt reaalsele ruumide kasutusele ning dünaamilistele seadepunktidele, saavutati ligi 30% energiasääst. [8]

Shea, Kissock ning Selvacanabady analüüsisid ventilatsioonigregaatide energiasäästumeetmeid ülikooli erineva kasutusotstarbega hoonetes. Suurim energiasääst, keskmiselt 35% ventilaatorite energiast, saadi ventilatsioonimasina töö juhtimise abil, kui masinad lülitati kasutusvälisel ajal välja. Teise meetmena vaadeldi agregaadid staatilise rõhu alandamist, mille tulemusena saavutati 33% ventilaatorite energiasääst.[9]

Käesoleva Magistritöö raames uuritakse hoonete energiabilansse ning viiakse läbi hoonete soojusenergia säästupotentsiaali esmane hindamine, mille põhjal saab tuvastada suurima energiasäästu võimalusega hooned ning mis võiks olla sisendiks edasistele, põhjalikumale hindamisele. Magistritöö jätkuks tuleks uurida täpsemalt suurema energiasäästupotentsiaaliga hooneid ja nende ventilatsioonisüsteeme näiteks milliseid soojustagasteid saab uuritavates ventilatsioonisüsteemides kasutada ning selle põhjal energiapotentsiaali täpsustada. Lisaks võiks energiasäästu perspektiivist uurida ka ventilatsioonisüsteemide juhtimist. Kuna magistritöö raames on uuritud ventilatsioonisüsteemide soojusenergiasäästu, tuleks edasi analüüsida sarnaselt ka elektrienergia säästupotentsiaali, mis on suurem töö, sest selleks tuleks elektriarvestite süsteemi muuta ja võimalusel arvesteid lisada, et sisendinfo oleks piisavalt täpne.

### **3 METOODIKA**

Magistritöö raames on uuritud Tallinna Tehnikaülikooli hoonete energiakasutust ning energiasäästupotentsiaali. Töö protsess on jaotatud järgnevateks osadeks:

- 1) Ülevaade magistritöö raames uuritavatest hoonetest
- 2) Ülevaade uuritavaid hooneid teenindavatest ventilatsioonisüsteemidest
- 3) Hoonete energiakasutuse analüüs
  - a) Koostatakse hoonete elektrienergiabilansid
  - b) Koostatakse hoonete soojusenergiabilansid
- 4) Hoonete soojusenergia säästupotentsiaali uurimine
  - a) Tervikrekonstrueerimise tagajärjel saavutatava ruumide kütmiseks kuluva soojusenergia säästu analüüs
  - b) Efektivsete ventilatsiooniseadmete kasutamisest tuleneva ventilatsiooniõhu soojendamise energiasäästu analüüs

#### **3.1 Uuritavad hooned**

Uurimistöö raames on vaadeldud Tallinna Tehnikaülikooli hoonefondi, kuhu kuulub 67 hoonet kogupindalaga 190 126 m<sup>2</sup>. Magistritöös on kogu hoonefondist käsitletud 44 hoonet summaarse köetava pindalaga 179 010 m<sup>2</sup>. Hoonete ja neid teenindavate tehnosüsteemide parameetrite uurimiseks kasutati Tallinna Tehnikaülikooli kinnisvaraosakonna poolt jagatud hoonete projekte, hoonehaldussüsteemi infot ning vaadeldi ventilatsiooniseadmeid hoonetes koha peal.

Analüüsitud projektdokumentatsioon hõlmab hoonete U01, U02, U02B, U03, U03B, U04, U04B, GEO, U05, U06, SOC, LIB, NRG ja STU projekte. Kuna erinevate hoonete projektide detailsus ja maht varieeruvad, kajastub see ka kogutud informatsiooni mahus. TalTechi üliõpilased on varasemalt magistritöodes koondanud erinevate ülikoolihoonete tehnosüsteemide parameetreid. Sellest tulenevalt pärinevad U03, U06 ja SOC hooneid teenindavate süsteemide andmed osaliselt nendest uurimistöödest. Käesoleva töö erinevate osade raames vaadeldud hooned on toodud tabelis 3.1, kus on lisaks märgitud, milliste hoonete elektri- ja soojusarvestite andmeid on töö raames kasutatud.

Tabel 3.1 Uuritavad hooned

<b>Hoone tüüp</b>	<b>Hoone tähis</b>	<b>Kõetav pindala, m<sup>2</sup></b>	<b>Elekter</b>	<b>Soojus</b>
Õppehoone 1	U01	4385,21	+	+
Õppehoone 2	U02	5135,5	+	+
Õppehoone 2b	U02B	628,4	+	+
Õppehoone 3	U03	5597,88	+	+
Õppehoone 3b	U03B	1524,3	+	+
Õppehoone 4	U04	5777	+	+
Õppehoone 4b	U04B	1415	+	+
Õppehoone 5	U05	5550	+	+
Geoloogia instituudi õppehoone	GEO	912	+	+
Õppehoone 5b	U05B	2577	+	+
Õppehoone 6	U06	9765,95	+	+
Õppehoone 6a	U06A	3070,05	+	+
Tudengimaja	STU	2011	+	+
Energeetikamaja	NRG	5940	+	+
Raamatukogu	LIB	11062	+	+
Majandusteaduskonna õppehoone	SOC	10360	+	+
Loodusteaduste maja	SCI	6991	+	
Infotehnoloogiateaduskonna õppehoone	ICT	11413	+	
Küberneetika instituut	CYB	4331,2	+	
Infotehnoloogiateaduskonna IT Kolledž	ICO	3677	+	
Mektory – Innovatsiooni -ja ettevõtluskeskus	MEK	4434	+	
Puidutöötlemise õppehoone	TIM	642	+	
Ehituse Mäemaja	CON	3411	+	
Spordihoone	S01	5301,9	+	
Virumaa kolledži peahoone ja laborihoone	VK1	5050,8	+	
Endine soojustehnika õppehoone	TEG	1968,1	+	
Tartu kolledži A - õppehoone	TCA	1052,7	+	
Tartu kolledži peamaja	TCB	1121	+	
Tartu kolledži C - õppehoone	TCC	826,1	+	
Üliõpilaselamu 1	D01	6662,2	+	
Üliõpilaselamu 2	D02	4869,8	+	
Üliõpilaselamu 3	D03	4869,8	+	
Väikeperede elamu/ühiselamu	D04	4323,6	+	
Korterelamu, 32 ülikooli korteriomandit 46-st	D05	1657,8	+	
Üliõpilaselamu	D06	2315,7	+	
Üliõpilaselamu	D07	3071,3	+	
Siidisaba üliõpilaselamu	D08	10128,2	+	

Tabel 3.1 järg.

Hoone tüüp	Hoone tähis	Köetav pindala, m <sup>2</sup>	Elektri PA	Soojuse PA
Virumaa kolledži üliõpilaselamu	D09	4320,8	+	
Katlamaja	BH1	90,9	+	
Glehni loss	GLN	1062,4	+	
Mektory – Innovatsiooni - ja ettevõtluskeskus	MEK	4434	+	
Tallinna tähetorn	OBS	160,4	+	
Virumaa kolledži põlevkivi kompetentsikeskus	PKK	1351,7	+	
Geoloogia instituut - Särghaua	SH	3760,5	+	

### 3.1.1 Hoonete ventilatsioonisüsteemid

Magistritöö ühe osana on leitud hoonete ventilatsiooniõhu soojendamise energiakulu säästupotentsiaal, mille tarbeks on esmalt uuritud hoonete ventilatsioonisüsteemide parameetreid. Andmete kogumisel on lisaks projektdokumentatsioonile kasutatud ka hoonehaldussüsteemi. Kuna mõned töös kasutatud ehitusprojektid on koostatud mitukümmend aastat tagasi, ei kajasta need täielikult hoonete tänapäevast seisukorda. BMS-i abil oli võimalik kindlaks teha, millised ventilatsiooniseadmed hooneid praeguseks teenindavad, kuna osa projektides kirjeldatud seadmeid pole enam kasutuses.

Uuritavate parameetrite hulka kuuluvad:

- Hooneid teenindavad ventilatsiooniseadmed ja nende teeninduspiirkonnad
- Ventilatsiooniseadmete töögraafikud
- Ventilatsiooniseadmete õhuvooluhulk
- Ventilatsiooniseadmete sissepuhkeventilaatori poolt arendatav rõhk mugavus- ning säästurežiimil

Uuritavates hoonetes on valdavalt kasutuses mehaaniline ventilatsioon. Ventilatsiooniseadmete töötamine täisvõimsusel väljaspool teenindatavate ruumide kasutusaegu ei ole energiatõhus ega otstarbekas. Seetõttu on enamik seadmeid seadistatud töötama kindlaksmääratud graafiku alusel, ning erinevatele töörežiimidele vastavate õhuvooluhulkadega. Hoonehaldussüsteemist on kogutud ajakohased andmed ventilatsiooniseadmete töögraafikute ning ventilaatorite rõhuseadistuste kohta nii mugavus- kui ka säästurežiimil.

Suurem osa kasutuses olevatest ventilatsiooniseadmetest on varustatud soojustagastitega. Seadmetel on plaatsoojustagastid, vahesoojuskandjaga

soojustagastid ning kõige enam on uuritavate ventilatsiooniseadmete puhul kasutuses rootorsoojustagastitega. Vahe-soojuskandjaga soojustagastid on kasutusel katusel asuvates seadmetes ning lebo-reid teenindavates seadmetes. Ventilatsioonisüsteemide parameetrid on tabelis 3.2.

Tabel 3.2 Uuritavate hoonete ventilatsiooniseadmed

Teeninduspiirkond	Hoone tähis	Hoone köetav pindala, m <sup>2</sup>	Süsteemi tähis	SP õhuvooluhulk, m <sup>3</sup> /s	Soojustagasti tüüp	Küttekalorifeer
<i>parkla</i>	LIB	11062	SV1	0,6	rootor	+
<i>hoidlad</i>	LIB	11062	SV2	0,59	rootor	+
<i>kohvik r.108, köök</i>	LIB	11062	SV3	1,16	plaat	+
<i>avalikud ruumid</i>	LIB	11062	SV4	3,78	rootor	+
<i>avalikud ruumid</i>	LIB	11062	SV5	1,7	rootor	+
<i>avalikud ruumid</i>	LIB	11062	SV6	3,69	rootor	+
<i>vestibüül, nõukad, klassid, kontor</i>	LIB	11062	SV7	3,93	rootor	+
<i>muuseum</i>	LIB	11062	SV8	1,13	rootor	+
<i>tehnomeedikum, köitekoda</i>	LIB	11062	SV9	1,38	rootor	+
<i>parkla</i>	SOC	10360	parkla	9,3	-	puudub
<i>1-4. k bürood</i>	SOC	10360	302SV	6,6	vahe-soojuskandjaga	+
<i>2-4. k väikesed audikad</i>	SOC	10360	303SV	3,2	vahe-soojuskandjaga	+
<i>1. k fuajee, 2-4k väikesed audikad</i>	SOC	10360	304SV	5,7	rootor	+
<i>2-4.k suured audikad</i>	SOC	10360	305SV	8,6	rootor	+
<i>ringauditoorium</i>	SOC	10360	306SV	1,8	rootor	+
<i>söögisaal, köök</i>	SOC	10360	307SV	2	-	+
<i>0-4 kr. laborid</i>	SCI	6991	SPS1	10,5	vahe-soojuskandjaga	
<i>0-4 kr. laborid</i>	SCI	6991	SPS2	10,5	vahe-soojuskandjaga	
<i>vivaarium</i>	SCI	6991	SPS3	3,5	vahe-soojuskandjaga	
<i>1. kr. saal</i>	SCI	6991	SPS4	1,5	rootor	
<i>0-5 kr. kabinetid</i>	SCI	6991	SPS5	4,1	rootor	
<i>0-5 kr. kabinetid</i>	SCI	6991	SPS6	4	rootor	
<i>ruum 120</i>	SCI	6991	SV1	0,25	rootor	elektrik.kal
<i>1. ja 2. korrus</i>	U01	4385,21	SV5	1,30	rootor	+
<i>ringideruumid</i>	U01	4385,21	SV7	0,17	rootor	puudub
<i>aula</i>	U01	4385,21	SV4.1	11,34	rootor	+
<i>aula</i>	U01	4385,21	SV4.2	8,82	rootor	+
<i>Auditoorium 103</i>	U01	4385,21	SV5.A	11,34	rootor	+
<i>söökla</i>	U01	4385,21	S1/V1	?	-	+

Tabel 3.2 järg

Teeninduspiirkond	Hoone tähis	Hoone köetav pindala, m <sup>2</sup>	Süsteemi tähis	SP õhuvooluhulk, m <sup>3</sup> /s	Soojustagasti tüüp	Küttekalorifeer
<i>kelder, arhiivid</i>	STU	2011	SV3	0,94	-	+
<i>2.k saal</i>	STU	2011	S1/V1	2,10	-	+
<i>1. k, 2. k (saal)</i>	STU	2011	S2/V2	0,57	-	+
<i>1-4 kr. vasakpoolsed ruumid</i>	U02	5135,5	SV1	2,06	rootor	+
<i>2-4 kr. keskmised ruumid</i>	U02	5135,5	SV2	2,05	rootor	+
<i>1-4 kr. parempoolsed ruumid</i>	U02	5135,5	SV3	2,01	rootor	+
<i>1-4 kr läänefassaadi ruumid</i>	U02	5135,5	SV4	2,01	rootor	+
<i>auditoorium 102</i>	U02	5135,5	SV5	1,86	rootor	+
<i>Mat. Uuringute labor</i>	U02	5135,5	SV6	0,71	rootor	+
<i>1-2 kr. kabinetid</i>	U02B	628,4	SV1	4,00	vahesoojus-kandjaga	+
<i>2. k kabinetid</i>	U02B	628,4	SV2	0,30	rootor	+
<i>auditoorium 103</i>	U03	5597,88	U03-103	1,36	rootor	+
<i>galerii kabinetid</i>	U03	5597,88	310	1,36	rootor	+
<i>1-4 kr vasak tiib, kabinetid</i>	U03	5597,88	SV1	1,43	rootor	+
<i>1-4 kr parem tiib, kabinetid</i>	U03	5597,88	SV2	0,70	rootor	+
<i>4. k auditooriumid</i>	U03	5597,88	SV3	1,22	rootor	+
<i>3.k vasak tiib, auditooriumid</i>	U03	5597,88	SV4	0,72	rootor	+
<i>3.k parem tiib, auditooriumid</i>	U03	5597,88	SV5	1,22	rootor	+
<i>2. k auditooriumid</i>	U03	5597,88	SV6	1,07	rootor	+
<i>1. k laborid</i>	U03	5597,88	SV7	0,90	rootor	+
<i>1-3 kr. ruumid</i>	U03B	1524,3	SV11	0,80	rootor	+
<i>1-2 kr. ruumid</i>	U03B	1524,3	SV12	2,72	vahesoojus-kandjaga	+
<i>0. kr abiruumid, 1. kr bürood</i>	GEO	912	SPS1	1,20	vahesoojus-kandjaga	+
<i>hoidlad</i>	GEO	912	RTS1	1,20	-	elektrik.kal
<i>1-4 kr. parem tiib</i>	U04	5777	SPS1/VTS1.1	10,52	vahesoojus-kandjaga	+
<i>1-4 kr. vasak tiib</i>	U04	5777	SPS2/VTS2	6,42	vahesoojus-kandjaga	+
<i>labor 413</i>	U04	5777	SPS3/VTS413		tsirkulatsiooni-õhk	puudub
<i>Kvartsipuhumise ruum</i>	U04	5777	S3/V8	0,50	-	puudub
<i>Auditoorium 103</i>	U04	5777	SV1	1,36	rootor	+
<i>Vahehoone, kelder</i>	U04	5777	SV2	0,73	vahesoojus-kandjaga	+
<i>Vahehoone 1-2 kr.</i>	U04	5777	SV3	1,12	rootor	+



Tabel 3.2 järg

Teeninduspiirkond	Hoone tähis	Hoone köetav pindala, m <sup>2</sup>	Süsteemi tähis	SP õhuvooluhulk, m <sup>3</sup> /s	Soojustagasti tüüp	Küttekalorifeer
üldvent	U04B	1415	SV1	1,95	vahesoojus-kandjaga	+
üldvent	U04B	1415	SV2	1,15	rootor	+
laborid	U04B	1415	SV3	2,85	-	+
laborid	U04B	1415	SV4	2,94	-	+
2-4 kr. vasak tiib	U05	5550	SV1	3,22	rootor	+
1-4 kr. parem tiib	U05	5550	SV2	3,09	rootor	+
1-2 kr. vahehoone	U05	5550	SV3	2,26	rootor	+
0-3 kr. laborid, vasak tiib	U05	5550	SV4	1,79	plaat	+
0-3 kr. laborid, parem tiib	U05	5550	SV5	3,71	plaat	+
laboratooriumid 307	U05	5550	SV6	0,85	rootor	+
vahehoone auditoorium 103	U05	5550	SV7	1,12	rootor	+
üldvent	U05B	2577	SV1	2,61	plaat	+
üldvent	U05B	2577	SV2	0,42	-	+
üldvent	U05B	2577	SV3	0,69	rootor	elektrik.kal
kabinetid, koridorid, väikesed nõukaruumid	U06	9765,95	SV1	3,22	rootor	+
auditoorium, seminariruum	U06	9765,95	SV2	4,00	rootor	+
labor, WC-d	U06	9765,95	SV3	4,90	vahesoojus-kandjaga	+
Labor (hapetega töötamiseks)	U06	9765,95	SV4	3,80	vahesoojus-kandjaga	+
labor, WC-d	U06	9765,95	SV5	2,20	vahesoojus-kandjaga	+
Labor (hapetega töötamiseks)	U06	9765,95	SV6	2,20	vahesoojus-kandjaga	+
labor, 0 ja 1 korrus	U06	9765,95	SV7	4,35	vahesoojus-kandjaga	+
parkla	U06	9765,95	SV8	0,45	rootor	+
auditoorium 201	U06A	3070,05	SV1	1,76	rootor	+
auditoorium 229	U06A	3070,05	301	2,06	rootor	+
vahehoone	U06A	3070,05	302	2,06	+	+
kabinetid 1-5k	NRG	5940	SV1	2,00	rootor	+
auditoorium, laborid 2-5 k	NRG	5940	SV2	4,50	vahesoojus-kandjaga	+
audit. Laborid 2-5 k.	NRG	5940	SV3	3,80	vahesoojus-kandjaga	+
audit. 131 ja 226	NRG	5940	SV4	3,00	rootor	+
fuajeed, aatrium, galerii	NRG	5940	SV5	1,60	rootor	+
rektoraat, 6.k	NRG	5940	SV6	1,50	rootor	+
nõukogu saal	NRG	5940	SV7	0,60	rootor	+

## 3.2 Elektrienergia tarbimine

Tallinna Tehnikaülikooli elektrienergiatarbimist mõõdetakse hoone põhiselt Elektrilevi OÜ elektrivõrguga ühendatud peaarvestitega ning tarbija tüübi alusel alamarvestitega (tabel 3.3). Elektrienergia tarbimise analüüsiks koondati elektriarvestite poolt kahel aastal, 2023, mõõdetud näidud. Ligipäas andmetele on saadud kinnisvaraosakonna poolt. Käesolevas töö osas on uuritud TalTech hoonete peaarvestite andmeid (tabel 3.1). Kasutatud 32 peaarvesti andmetest hõlmavad mõned mitme hoone tarbimist korruga (joonis 4.1). Peaarvestite näidud on mõõdetud võrguvaldaja arvestite poolt, alamarvestite näidud kinnisvaraosakonnale kuuluvate arvestite poolt. Alamarvestite andmeid on uuritud järgnevate TalTechi hoonete kohta: GEO, LIB, NRG, SOC, STU, U01, U02, U02B, U03, U03B, U04, U04B, U05, U05B, U06, U06A, ICT, ICO, SCI, S01, TIM. Arvesteid on antud hoonete peale kokku üle 400 ning nende struktuurist ülevaate saamiseks on kasutatud kinnisvaraosakonna poolt jagatud elektriarvestite struktuurskeeme.

Tabel 3.3 elektri alamarvestid

<b>TalTech hoonetes kasutatavad elektri alamarvestid</b>
Socomec Countis E44
Algodue UEM80
UEM1P5
Iskra IE38

Peaarvestite näitude põhjal on arvatud kuu põhised elektritarbimised ning koostatud hoonete 2023. aasta koguelektrienergiatarvet kirjeldav graafik (joonis 4.1). Lisaks on arvatud elektri eritarbimine hoone kätava pindala suhtes. Saadud tulemuste visualiseerimiseks on loodud graafik (joonis 4.2), mis võimaldab erinevaid hooneid nende elektrikasutuse alusel võrrelda.

Hoonepõhise elektrikasutuse põhjalikumaks analüüsiks on kasutatud alamarvestite mõõdetud tarbimist millest on arvatud kuu põhised elektritarbimised ning koostatud elektribilanss. Bilanss kirjeldab iga hoone või hoonete grupi tarbitud elektrienergiat, mis on kulunud ventilatsioonisüsteemidele, jahutussüsteemidele, valgustusele, rentnikele ning muudele tarbijatele. Kuna kõikide tarbijate elektrikasutust alamarvestitega ei mõõdetata, on graafikul peaarvesti ning alamarvestite summa mõõtmisandmete vahe eraldi välja toodud kui „alamarvestitega mõõtmata“ osa. Jaotuse alusel koostatakse graafik kirjeldamiseks hoone 2023. aasta elektribilanssi (joonis 4.3). Osal uuritavatest hoonetest puuduvad alamarvestid, või ei ole käesoleva töö raames saadud ligipääsu

konkreetsetele andmetele, seega on koostatud täpsustatud elektrienergia bilanss ainult olemasolevate alamarvestite andmetega hoonetele (joonis 4.4) ning lisaks koostatud summaarne elektrienergia bilanss (joonis 4.5), et mõista üldist elektritarbimise jaotumist tarbijate vahel olenemata hoone kontekstist.

### 3.3 Soojusenergia tarbimine

Käesolevas töö osas uuritakse Utilitas AS kaugkütte võrguga ühendatud Tallinna Tehnikaülikooli hooned, mille soojusenergia tarbimist mõõdetakse hoone põhiselt võrguvaldaja peaarvestitega ning tarbija tüübi põhiselt alamarvestitega. Hoonetes on kinnisvaraosakonna poolt soojustarbimise mõõtmiseks paigaldatud alamarvestid (tabel 3.4). Soojusenergia tarbijatena on töös käsitletud ruumide kütet, ventilatsiooniõhu soojendamist, tarbevee kütet ning teadmata tarbijaid on käsitletud kui „muud“.

Tabel 3.4 soojuse alamarvestid

<b>TalTech hoonetes kasutatavad soojuse alamarvestid</b>
Kamstrup Multical 603
Qualsonic E3
Qualsonic E2

Hoone soojusenergia tarbe analüüsi koostamiseks on muutuvkulude mõõtmissüsteemist Measureway koondatud aastate 2022-2023 jooksul alamarvestite poolt logitud näidud järgnevate TalTechi hoonete kohta: U01, U02, U02B, U03, U03B, U04, U04B, U05, U05B, U06, U06A, GEO, NRG, LIB, SOC, ICO, STU (tabel 3.1). Koondatud näitudest on arvatud kuu põhised soojustarbimised. Mõõtesüsteemi ülesehituse mõistmiseks on kasutatud arvestite struktuurskeeme, mille alusel on soojatarbimine jaotatud vastavalt hoonetele ning tarbijate tüüpidele.

Iga hoone kohta on lisaks koondatud Utilitase peaarvesti näidud, mille alusel on kontrollitud alamarvestite andmete kvaliteeti. Kontrolli tulemusena on otsustatud töö edasises osas analüüsida vaid 2023 aasta andmeid, sest 2022 aasta alamarvestite andmetest on suur osa logimata, mis ei tagaks energiabilansi koostamisel adekvaatset tulemust.

Töö käigus on koostatud 2023. aasta soojusenergiabilansid uuritavatele hoonetele, kus on näidatud nii peaarvestite mõõdetud tarbimised kui ka tarbija tüübil alusel jaotatud alamarvestite mõõdetud tarbimised (joonis 4.6). Samuti luuakse tarbija tüübi alusel

energiabilanss kõikide uuritavate hoonete summaarse tarbimise kohta (joonis 4.7). Lisaks leitakse soojusenergia kulu hoone köetava pinna kohta (joonis 4.8), mis annab aluse erineva suurusega hoonete soojustarbimise võrdlemiseks.

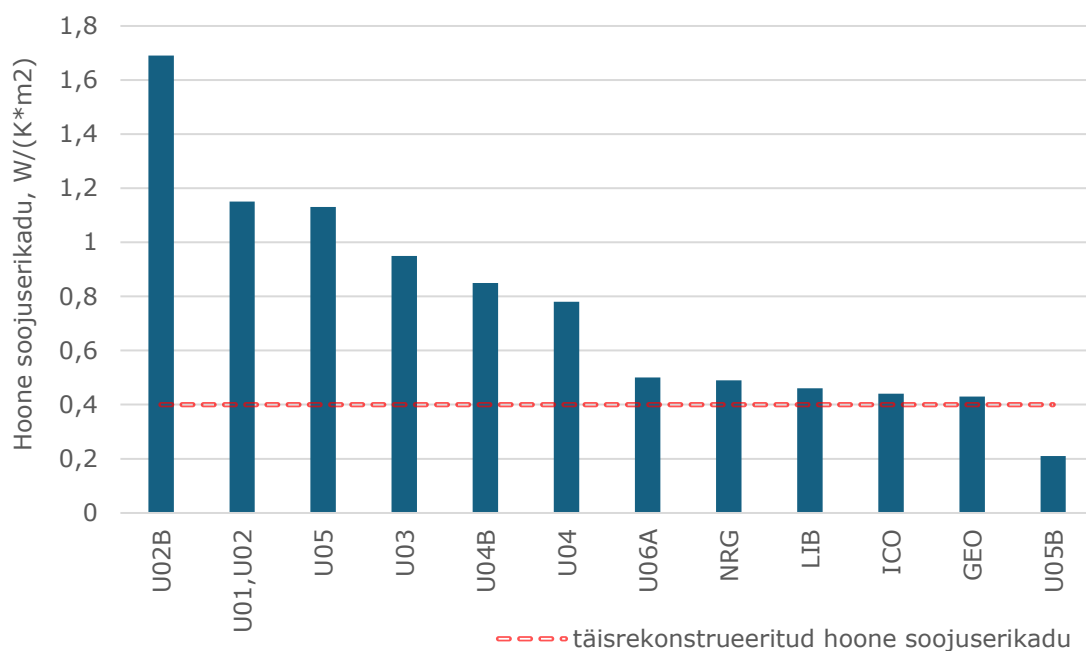
### **3.4 Säätupotentsiaal**

Magistritöös on läbi viidud üldine analüüs hoonete energiasäästu potentsiaali esmaseks hindamiseks. Töö eesmärk on pakkuda alust, mis võimaldab hoonete valimist tuvastada need hooned, millel võiks olla suurim säästupotentsiaal. Esmase hinnangu alusel saab seejärel suunata energiatõhususe spetsialistide tähelepanu konkreetsetele hoonetele, mis vääriwad edasist süvitsi uurimist.

Koondatakse hoonete andmed ning nende tehnosüsteemide parameetrid olemasolevatest hoonete projektidest ning BMS süsteemist. Analüüsitakse võimalusi hoonete küttele ning ventilatsiooniõhu soojendamisele kuluva soojusenergia vähendamiseks. Rahalise säästu leidmiseks on arvestatud 2023. aasta keskmise Utilitase kaugkütte hinnaga TalTechi jaoks, mis oli 88,44 €/MWh (ilma käibemaksuta).

#### **3.4.1 Ruumide kütteenergia säästupotentsiaal**

Sofia Vasman, on doktorantuuri raames tegelenud TalTech hoonete, U01, U02, U02B, U03, U04, U04B, U05, U05B, U06A, GEO, ICO, LIB, NRG, soojuserikadude hindamisega, analüüsides välisõhu temperatuuri ning ruumide kütte soojusenergiatarbe seost (lisa 1). Antud analüüsi tulemusi (joonis 3.1) kasutatakse käesoleva magistritöö raames, et leida hoonete tarindite täisrekonstrueerimise tagajärjel saavutatav võimalik ruumide kütteenergia säästuprotsent eeldusel, et tasakaalutemperatuur jääb samaks. Juhendajatega konsultatsiooni tulemusel on otsustatud arvestada täisrekonstrueerimise tagajärjel võimalik saavutatav hoonete soojuserikadu köetava pinna ruutmeetri kohta  $H_{\text{köetav, võrdlus}} 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .



Joonis 3.1 Hoone soojuserikadu kätava pinna ruudu kohta

Arvestades mõõdetud tarbimise alusel leitud hoonete soojuserikadusid (joonis 3.1) ning täisrekonstrueerimise tulemusena saavutatavat soojuserikadu, arvutatakse ruumide kütteenergia säästuprotsent (3.1) ning normaliseeritud energiatarve (3.2).

$$n_{Q,s} = 1 - \frac{H_{k\ddot{o}etav,v\ddot{o}rdlus}}{H_{k\ddot{o}etav}}, \quad (3.1)$$

kus  $n_{Q,s}$  – soojusenergiatarve säästuprotsent, %,

$H_{k\ddot{o}etav, v\ddot{o}rdlus}$  – hoone soojuserikadu kätava pinna ruutmeetri kohta pärast täisrekonstrueerimist, W/(m<sup>2</sup>K),

$H_{k\ddot{o}etav}$  – hoone soojuserikadu kätava pinna ruutmeetri kohta, W/(m<sup>2</sup>K).

Töö raames leitud reaalaasta 2023 soojustarbimine hoonete kütteks on arvatud ümber baasaasta tarbimisele vastavalt Kliimaministeeriumi kodulehel hoonete energiatõhususe tööriistade hulgas avaldatud valemile (3.2), kusjuures ööpäeva tegelik kraadpäevade arv on arvatud vastavalt seosele (3.3), kasutades EstTRY(1990-2020) kliimaandmeid, mis pärinevad kliimaministeeriumi kodulehelt [10]. Baasaasta kraadpäevade arv Tallinnas, tasakaalutemperatuuril 15°C on 3362°C·d. 2023. aasta

$$Q_B = (Q - C) \cdot \frac{S_B}{S_{teg}} + C, \quad (3.2)$$

kus  $Q_B$  – baasaasta soojustarbimine, Wh,

$Q$  – tegeliku aasta soojustarbimine, Wh,

$C$  – kraadpäevadest sõltumatu soojustarbimine, Wh,

$S_B$  – baasaasta kraadpäevade arv,

$S_{teg}$  – tegeliku aasta kraadpäevade arv (valitud samal tasakaalutemperatuuril  $t_B$ , mis  $S_B$ ).

$$S_{teg} = \sum_{i=1}^{365} (t_B - t_{vi}), \quad (3.3)$$

kus  $t_B$  – tasakaalutemperatuur hoones, °C (valitud 15°C),

$t_{vi}$  – ööpäeva keskmine välistemperatuur, kus  $i$  on päev aastas (1-365), °C.

2023. aasta kraadpäevade arv tasakaalutemperatuuril 15°C on 3237°C-d, mis on vähem kui baasaasta kraadpäevade arv, seega on baasaasta tarbimine 2023 aasta omast suurem. Normaliseeritud energiatarbe alusel on leitud energiasääst baasaasta kohta (3.4), mis oleks teoreetiliselt võimalik saavutada hoone rekonstrueerimise tagajärjel ning hoone potentsiaalne energiatarve pärast rekonstrueerimist (3.5). Leitud tulemuste visualiseerimiseks on koostatud joonis 4.11.

$$Q_{s,B} = Q_B \cdot n_{Q,s}, \quad (3.4)$$

kus  $Q_{s,B}$  – soojusenergia sääst baasaasta kohta, Wh,

$Q_B$  – baasaasta soojusenergia tarbimine, Wh,

$n_{Q,s}$  – soojusenergiatarbe säästuprotsent, %.

$$Q_{rek,B} = Q_B - Q_{s,B}, \quad (3.5)$$

kus  $Q_{rek,B}$  – baasaasta energiatarve pärast rekonstrueerimist, Wh,

$Q_B$  – baasaasta soojusenergia tarbimine, Wh,

$Q_{s,B}$  – soojusenergia sääst baasaastakaasta kohta, Wh.

### 3.4.2 Ventilatsiooniõhu kütteenergia säästupotentsiaal

Soojusenergiatarvet ventilatsiooniõhu soojendamiseks iseloomustab temperatuuri tõus küttekalorifeeris ning soojustarbimise vähendamiseks on üks võimalus suurendada soojustagastuse efektiivsust. Ventilatsioonisüsteemide võimaliku energiasäästu hindamiseks on seega antud töö osas analüüsitud kuu põhiselt hoone keskmist ventilatsiooniseadmete õhu temperatuuri tõusu 2023. aasta mõõdetud soojustarbimise alusel. Leitud temperatuuri tõusu ning sama aasta keskmist kuu põhist välisõhu temperatuuri arvesse võttes on koostatud nende seost kirjeldavad graafikud iga hoone jaoks (joonised 4.15-4.22). Analüüsis on arvestatud ainult ventilatsiooniseadmetega, mille küttekalorifeer töötab kaugkütte võrgu soojusega.

BMS-ist on koondatud ventilatsiooniseadmete töögraafikud maatriksi kujule, mis võimaldab summeerida seadmete töötunnid nädala põhiselt. Arvestades iga seadme mugavusrežiimi ning säästurežiimi õhuvooluhulkasid, on leitud hoone kõikide ventilatsiooniseadmete summaarne sissepuhke õhuvooluhulk iga nädalapäeva kohta ning selle alusel arvatud iga kuu, jaanuar – detsember, summaarne õhuvooluhulk hoone kohta (3.6).

$$L_k = \sum_{i=1}^7 (L_m \cdot h_{mi} + L_s \cdot h_{si}) \cdot 3600 \cdot n_i, \quad (3.6)$$

kus  $L_k$  – summaarne sissepuhke vooluhulk ühes kuus, kus  $k$  tähistab kuud (1-12),  $m^3$ /kuus,  
 $L_m$  – mugavusrežiimi sissepuhke vooluhulk,  $m^3/s$ ,  
 $h_{mi}$  – mugavusrežiimi töötunnid nädalapäevas  $i$ ,  
 $L_s$  – säästurežiimi sissepuhke vooluhulk,  $m^3/s$ ,  
 $h_{si}$  – säästurežiimi töötunnid nädalapäevas  $i$ ,  
 $i$  – nädalapäev 1-7,  
 $n_i$  – nädalapäevade,  $i$ , arv kuus,  $k$ , uuritavaal aastal.

Ventilatsiooni mugavusrežiimi õhuvooluhulk on leitud vastavalt projektdokumentatsioonile. Säästurežiimile vastav õhuvooluhulk on arvatud ventilaatori poolt arendatavate mugavus- ning säästurežiimile kohaste rõhkude alusel. Arvestades, et ventilaatori arendatav rõhk on võrdeline selle pöörlemiskiiruse ruuduga ning pöörlemiskiirus omakorda on võrdeline vooluhulgaga, on kasutatud järgnevat seost, et leida ventilatsiooniseadme sissepuhke õhuvooluhulk säästurežiimil:

$$L_s = L_m \cdot \sqrt{\frac{P_s}{P_m}}, \quad (3.7)$$

kus  $L_s$  – Ventilaatori õhuvooluhulk säästurežiimil,  $m^3/s$ ,  
 $L_m$  – Ventilaatori õhuvooluhulk mugavusrežiimil,  $m^3/s$ ,  
 $P_s$  – Ventilaatori rõhutõus säästurežiimil, Pa,  
 $P_m$  – Ventilaatori rõhutõus mugavusrežiimil, Pa.

Temperatuuri tõus ventilatsiooniseadme küttekalorifeeris on leitud valemi 4.8 alusel. Selle tarbeks on ventilatsiooni soojustarbimine taandatud kliima baasaastale sarnaselt ruumide kütte energiatarbimisele valemi 4.2 järgi.

$$\Delta t_k = \frac{Q_{kB}}{L_k \cdot \rho \cdot c}, \quad (3.8)$$

kus  $\Delta t_k$  – temperatuuri tõus ventilatsiooniseadme küttekalorifeeris, °C,

$Q_{k,B}$  – Baasaastale taandatud soojusenergia ventilatsiooniõhu soojendamiseks ühes kuus, kus  $k$  tähistab kuud (1-12), W,  
 $L_k$  – summaarne sissepuhke vooluhulk ühes kuus, kus  $k$  tähistab kuud (1-12),  $m^3$ /kuus,  
 $\rho$  – tihedus,  $kg/m^3$ ,  
 $c$  – erisoojus,  $J/kg \cdot K$ .

Etalonsüsteemi, ehk efektiivse ventilatsioonisüsteemi küttekalorifeeris temperatuuri tõusu leidmiseks valemi loomisel on hoonete tasakaalutemperatuuriks  $t_B$  valitud  $15^\circ C$ . Valemis tähistab  $y$  temperatuuri tõusu küttekalorifeeris ning  $x$  välisõhu temperatuuri. Tasakaalutemperatuuril, ehk  $x=15^\circ C$ , õhku kalorifeeris ei soojendata, seega  $y=0$ , ehk  $y=-x+15$ . Etalonsüsteemi puhul on lisaks määratud soojustagasti efektiivsusega 85%, seega küttega tagatav soojus on 15%, ehk  $y=(-x+15) \cdot 0,15$ . Sellisel juhul on välisõhu temperatuuri juures  $t_v=0^\circ C$  õhu temperatuuri tõus kalorifeeris  $2,25^\circ C$  eeldusel, et on tagatud soojustagasti efektiivsus 85%.

Valemi loomisel kasutatud seosed:

- 1) kui  $x=15$ , siis  $y=0$
- 2) kui  $\eta=85\%$ , siis  $y=(-x+15) \cdot 0,15$

Antud seoseid iseloomustab järgnev võrrand (3.9), mille alusel on leitav tõhusa süsteemi jaoks temperatuuri tõus küttekalorifeeris.

$$y = -0,15x + 2,25, \quad (3.9)$$

kus  $y$  – temperatuuri tõus ventilatsiooni küttekalorifeeris,  $^\circ C$ ,  
 $x$  – välisõhu temperatuur,  $^\circ C$ .

Valemi (3.9) abil on välja arvatud tõhusate ventilatsioonisüsteemidega hoone keskmine temperatuuri tõus ventilatsiooniseadmes vastavalt välisõhu temperatuurile (tabel 3.3) igaks kuuks (joonised 4.15-4.21).

Tabel 3.3 Baasaasta kuude keskmine välistemperatuur

jaan.	veebr.	märts.	apr.	mai	juuni	juuli	aug.	sept.	okt.	nov.	dets.
Keskmine välisõhu temp (Baasaasta)											
-4,3	-3,4	0,3	7,5	11,8	15,2	18,2	17,2	10,7	5,4	1,3	-1,9

Kasutades viimati leitud temperatuuri tõusu kalorifeeris, arvutati iga hoone jaoks soojusenergia kulu ventilatsiooniõhu soojendamiseks eeldusel, et hoones on hästi toimivad ventilatsioonisüsteemid.



$$Q_{s,k} = L_k \cdot \rho \cdot c \cdot y_{k,r} \quad (3.10)$$

- kus  $Q_{s,k}$  – soojusenergia ventilatsiooniõhu soojendamiseks (toimiva süsteemi korral) ühes kuus, kus  $k$  tähistab kuud (1-12), W  
 $L_k$  – summaarne sissepuhke vooluhulk ühes kuus, kus  $k$  tähistab kuud (1-12), m<sup>3</sup>/kuus,  
 $\rho$  – tihedus, kg/m<sup>3</sup>,  
 $c$  – erisoojus, J/kg · K,  
 $y_{k,r}$  – temperatuuri tõus ventilatsiooni küttekalorifeeris, leitud vastavalt valemile (3.9), °C.

Ventilatsiooniõhu kütte soojustarbimise säästuprotsendi ning säästupotentsiaali leidmiseks on võrreldud mõõdetud soojatarbimist valemi 3.10 järgi arvatud tõhusa süsteemi soojatarbimisega.

$$n_Q = 1 - Q_{s,k}/Q_k \quad (3.11)$$

- Kus  $n_Q$  – hoone ventilatsiooniõhu kütte energiasäästuprotsent  
 $Q_{s,k}$  – soojusenergia ventilatsiooniõhu soojendamiseks (toimiva süsteemi korral) ühes kuus, kus  $k$  tähistab kuud (1-12), W  
 $Q_k$  – soojusenergia ventilatsiooniõhu soojendamiseks ühes kuus, kus  $k$  tähistab kuud (1-12), W

Lisaks on arvatud potentsiaalne soojusenergia sääst:

$$Q_s = Q_k - Q_{s,k,r} \quad (3.12)$$

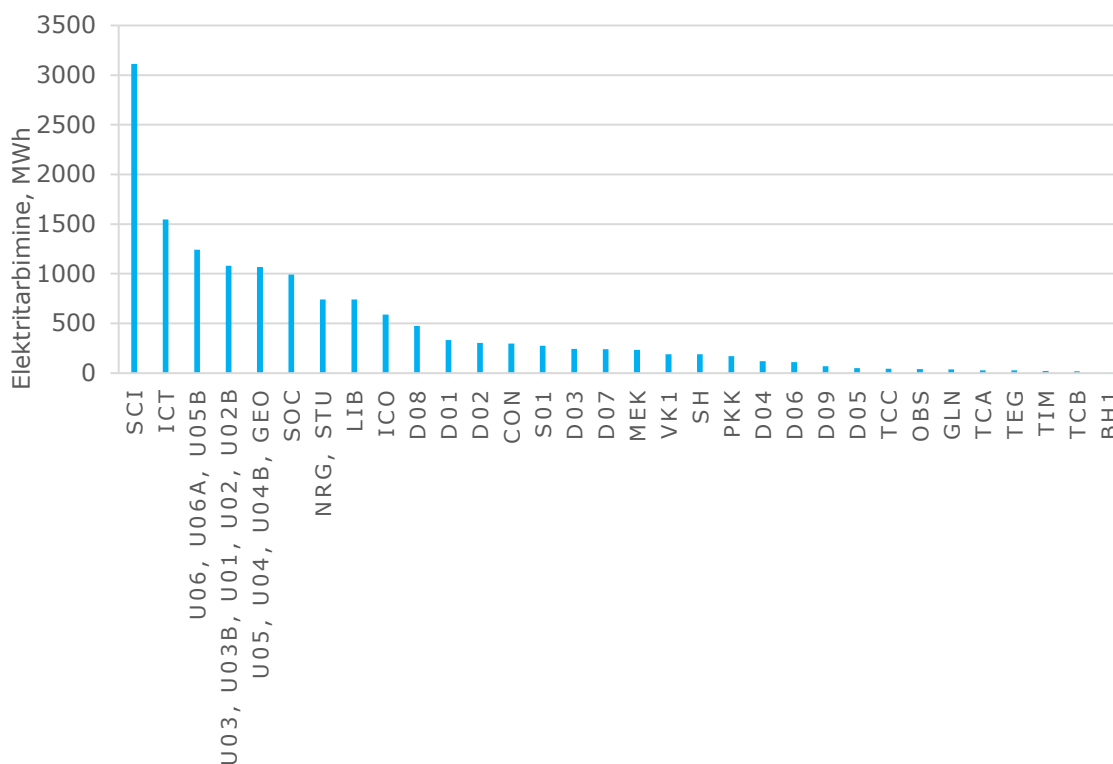
- kus  $Q_s$  – ventilatsioonisüsteemide soojusenergia säästupotentsiaal ühes kuus, kus  $k$  tähistab kuud (1-12), W  
 $Q_{s,k}$  – soojusenergia ventilatsiooniõhu soojendamiseks (toimiva süsteemi korral) ühes kuus, kus  $k$  tähistab kuud (1-12), W  
 $Q_k$  – soojusenergia ventilatsiooniõhu soojendamiseks ühes kuus, kus  $k$  tähistab kuud (1-12), W

## 4 TULEMUSED

### 4.1 Energiabilanss

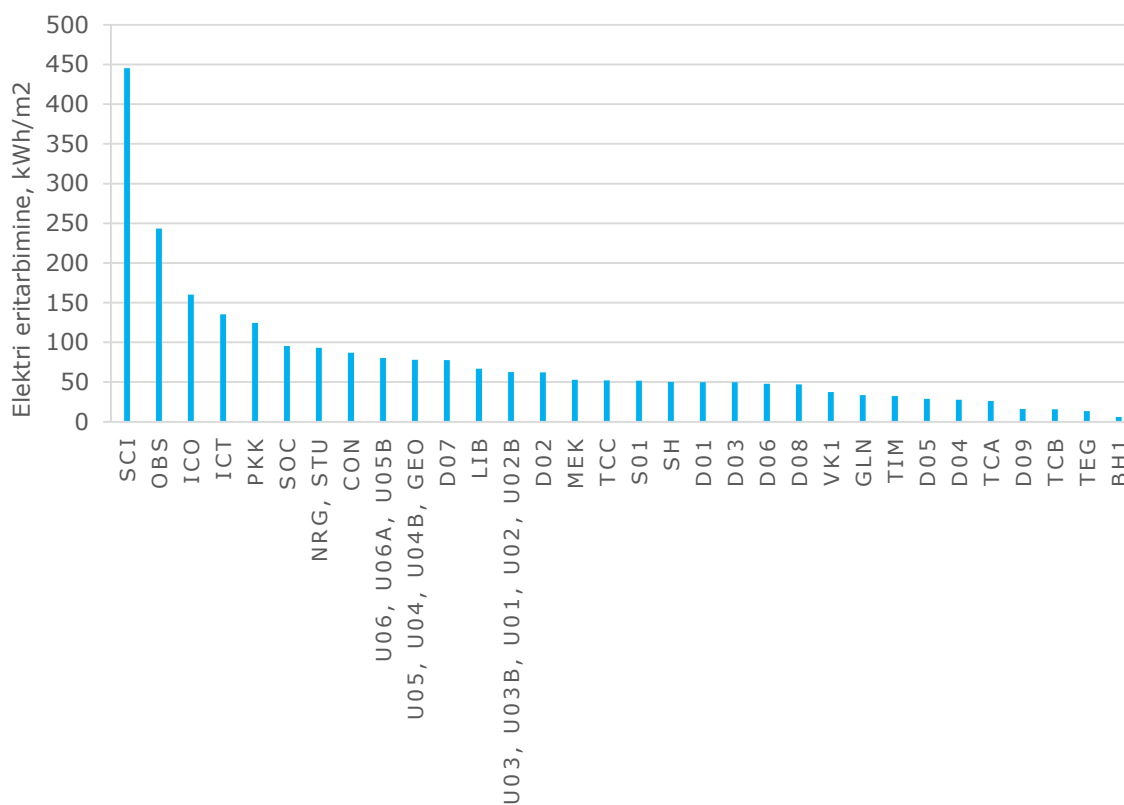
#### 4.1.1 Elektrienergia

Uuritavate hoonete mõõdetud elektrienergiatarbimine 2023. aastal oli kokku 14 608 MWh. Joonis 5.1 kirjeldab 2023. aasta summaarset mõõdetud elektritarbimist töös käsitletud peaarvestite alusel, kus ühes tulbas kujutatud hoonete tarbimine on mõõdetud ühe Elektrilevi OÜ peaarvestiga. Kõige suurema elektritarbimisega on hoone SCI, mille tarbimiseks mõõdeti 3113,63 MWh, moodustades sellega 21% kogu uuritavate hoonete elektrikasutusest. Teine suure mõõdetud tarbimisega hoone on ICT, mille elektrienergiatarbimine 2023. aastal oli 1545 MWh, moodustades 11% kogu uuritavast elektrikasutusest. Antud hoonete, SCI ning ICT tarbimine erineb ülejäänud hoonetest suurel määral, kuna suuruselt järgmised mõõdetud tarbimisandmed on mitme hoone summaarsed.

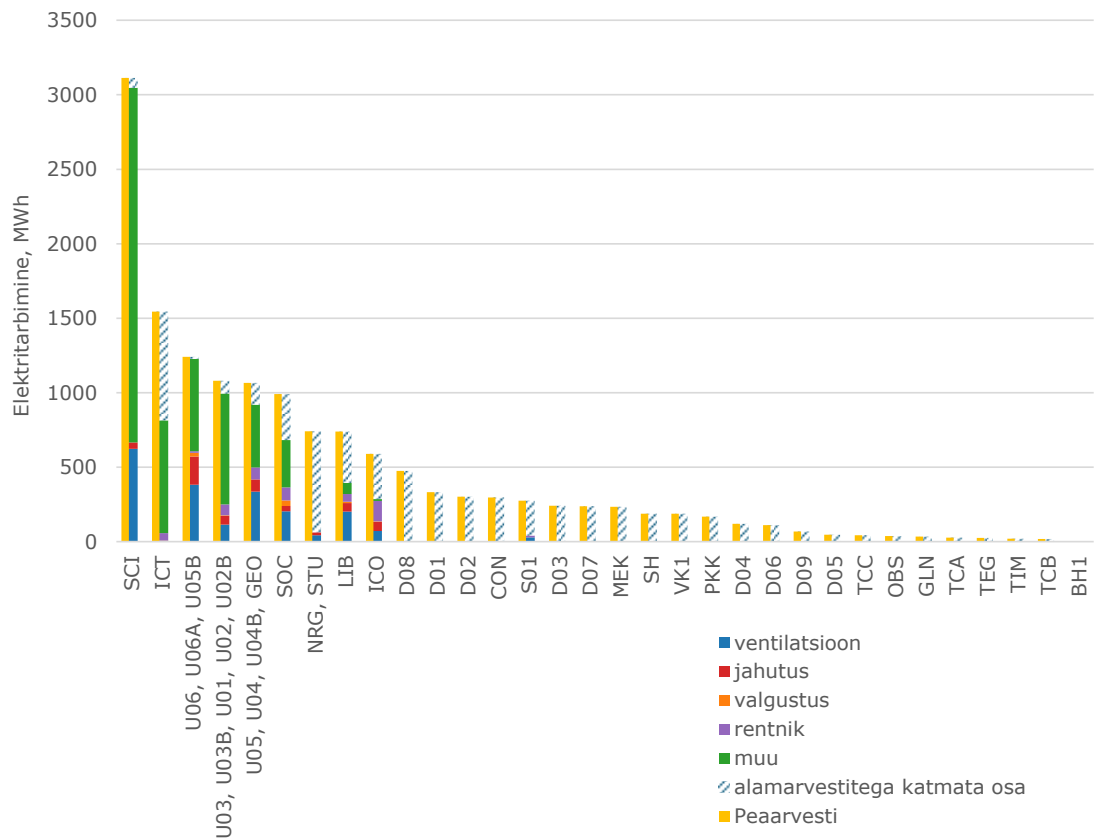


Joonis 4.1 TalTech hoonete 2023. aasta elektrienergiatarve

Uuritavate hoonete pindalad varieeruvad ning erinevate hoonete energiatarbimise võrdlemiseks on otstarbekas kogutarbimise asemel kasutada eritarbimist (joonis 4.2), mis võtab arvesse ka hoone köetavat pindala (tabel 3.1). Suurima eritarbimisega hoone 2023. aasta andmetel oli SCI, mille eritarbimine oli 445 kWh/m<sup>2</sup>. Teised suurema eritarbimisega hooned olid OBS, ICO ning ICT. Elektrienergiatarbest parema ülevaate saamiseks on lisaks paarvestite andmetele uuritud ka alamarvestite mõõdetud andmeid ning koostatud energiabilanss (joonis 4.3).

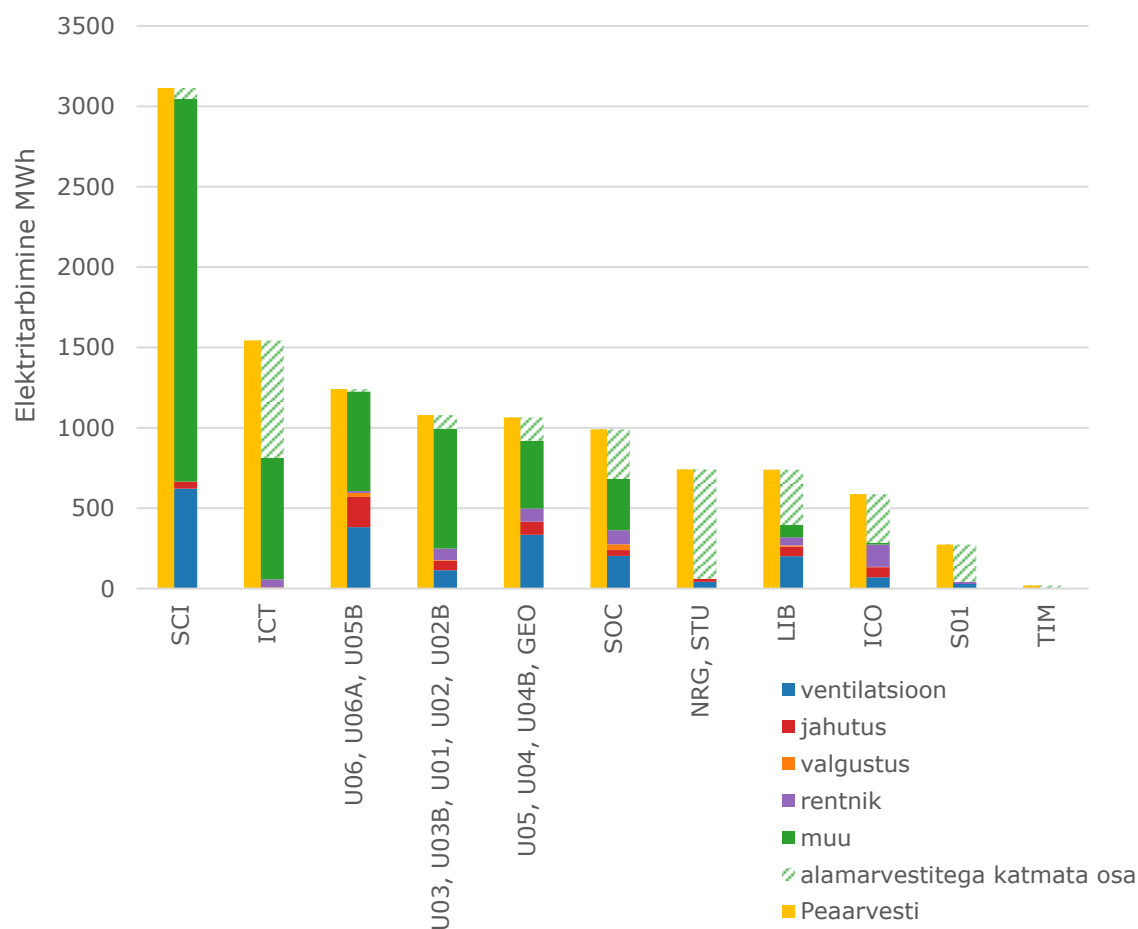


Joonis 4.2 TalTech hoonete 2023. aasta elektrienergia eritarbimine

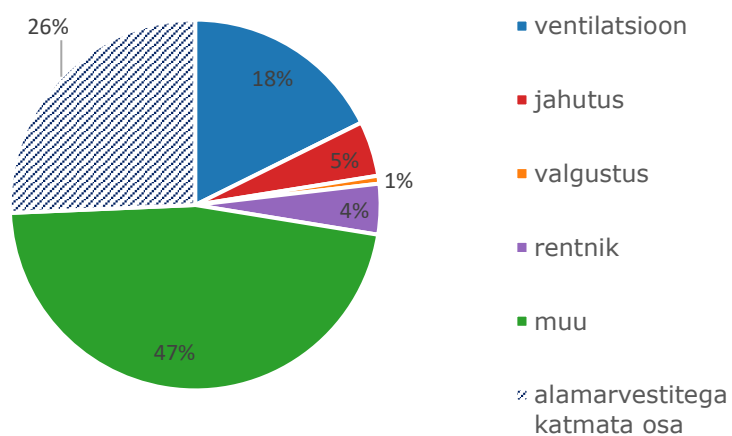


Joonis 4.3 TalTech hoonete 2023. aasta elektribilanss

Täpsustatud elektrienergia bilanss (joonis 4.4) välistab hooned, mille alamarvestite andmed on töö autorile kättesaamatud. Summaarselt kulub suurim osa elektrienergiat ventilatsioonisüsteemidele - antud hoonete peale kokku 18% elektrienergiast (joonis 4.5). Ventilatsioonisüsteemide elektrienergiatarbimine on suurim hoonegruppidel U06, U06A, U05B ning U05, U04, U04B, GEO, moodustades 31% nende hoonegruppide koguelektrienergiatarbimisest. Elektrist 5% tarbivad uuritavates hoonetes jahutussüsteemid (joonis 4.5) ning suurim jahutussüsteemide hoonegrupi põhine elektrikasutus on hoonegrupil U06, U06A, U05B, mille elektritarbimisest 15% moodustab jahutussüsteemide tarbimine. (joonis 4.4). Rendipindade kasutusele kulub 4% elektrienergiast (joonis 4.5), kusjuures suurima rendipindade elektrienergiakasutusega hoone on ICO, mille rentnikud on tarbinud 23% kogu hoone elektrienergiast. 1% kogu uuritavate hoonete tarbitud elektrist kulub valgustusele (joonis 4.5) ning suurima protsentuaalse elektrikasutusega valgustusega, 4%, hoone on SOC (joonis 4.4). Uuritavate hoonete kogu elektrienergiatarbimisest 26% ei ole mõõdetud alamarvestitega.



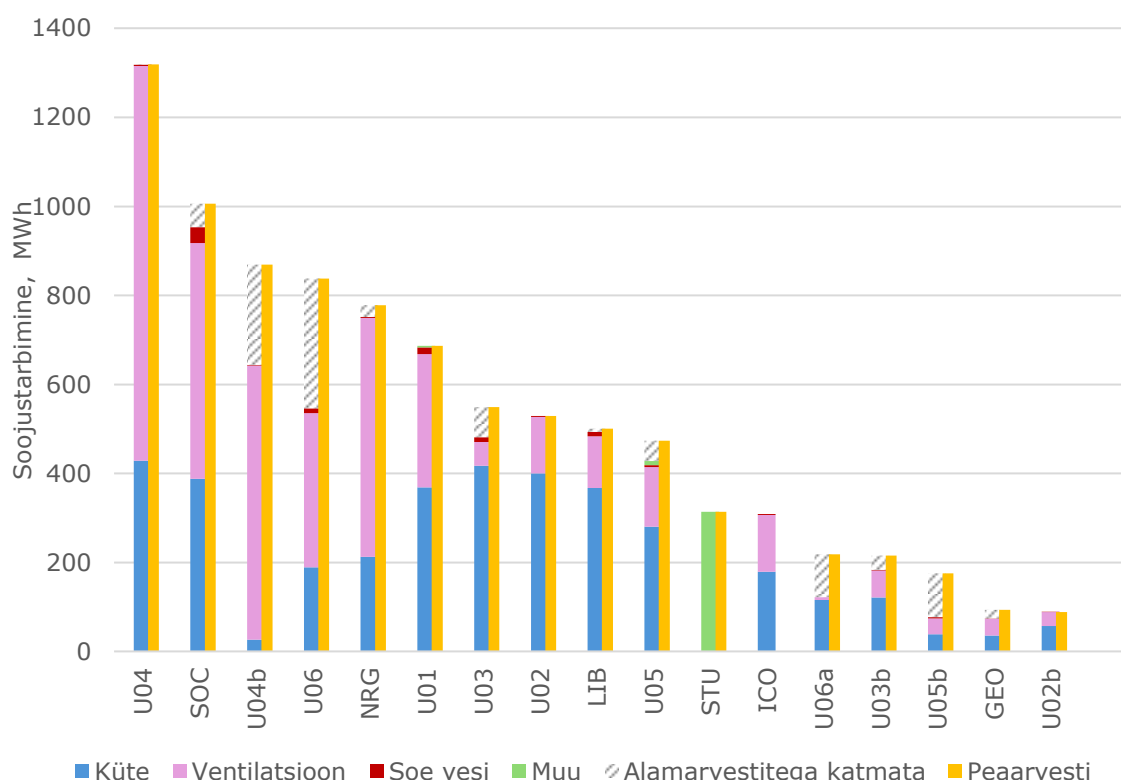
Joonis 4.4 TalTech hoonete 2023. aasta elektribilanss



Joonis 4.5 TalTech hoonete sumaarne 2023. aasta elektrienergiabilanss

## 4.1.2 Soojusenergia

Töö raames uuritud hooned tarbisid aastal 2023 kokku 8969MWh soojusenergiat. Kollane tulp kirjeldab 2023. aasta Utilitase peaarvestitega mõõdetud soojustarbimist joonisel 4.6. Suurima tarbimisega hoone on U04, mis tarbis 2023 aastal 1320 MWh soojusenergiat. Lisaks kogusoojustarbimisele on graafikul kujutatud hoonete alamarvestitega mõõdetud tarbimist, mis on jaotatud vastavalt tarbija tüübile. Suurim osa soojusenergiat kulub uuritavates hoonetes ventilatsiooniõhu soojendamiseks ning väiksem osa sooja tarbevee valmistamiseks.

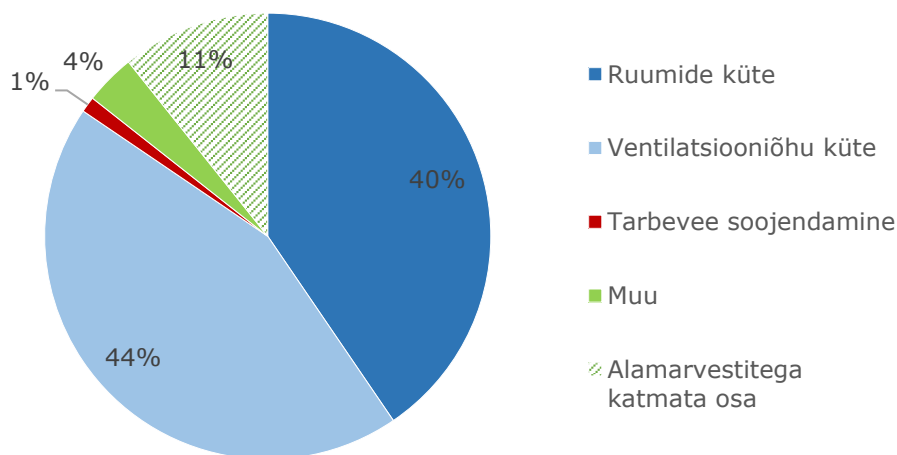


Joonis 4.6 2023. aasta soojustarbimine

Vaadates uuritavate hoonete summaarset tarbimist, moodustab ventilatsiooniõhu kütte soojusenergia osakaal hoone soojustarbimisest 44% (joonis 4.7). Suurima soojustarbimisega hoone on U04, mille tarbimine 2023 aastal oli 1320MWh, kusjuures põhiosa kütteenegiast on kulunud ventilatsiooniõhu soojendamisele ning see moodustab 67% hoone kogusoojustarbimisest. Suurema ventilatsiooni soojustarbimise osakaaluga kogu hoone soojustarbimisest on veel U04B, kus ventilatsiooni tarbimine moodustab 71% kogusoojustarbimisest, NRG, kus ventilatsiooni tarbimine moodustab 69% kogu soojatarbimisest, SOC ventilatsiooni tarbimisega 53% kogu soojatarbimisest.

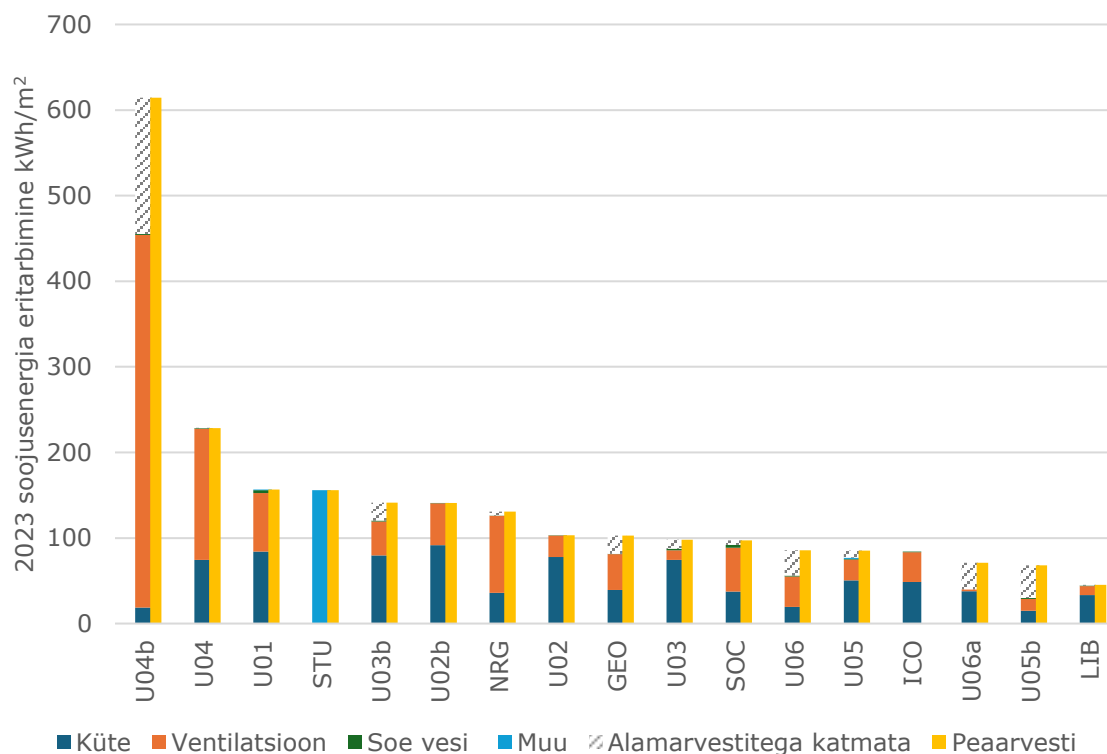
Ruumide küttele on kulunud summaarselt 40% hoonete tarbitud soojusenergiast. Proportsionaalselt suure ruumide kütte energiakuluga hooned on U03, mille aastane tarbimine on 417 MWh ja U02, aastase tarbimisega 400MWh, kus mõlemad hooned on 2023 aastal ruumide kütteks kasutanud 76% kogu oma tarbitavast soojusenergiast. LIB soojatarbimisest on ruumide kütteks kasutatud 73% soojusenergiast, mis on 367,7 MWh, hoone eritarbimine on uuritavate hoonete mõistes väike. Kuna hoone on valimi mõistes võrdlemisi uus, ehitatud 15 aastat tagasi ning hoones on valdavalt rootorsoojustagastitega ventilatsiooniseadmed, on tulemus loogiline.

Alamarvestitega katmata soojusenergia kajastab alamarvestite mõõdetud tarbimise summa ning peaarvesti mõõdetud tarbimise vahet ning hõlmab osaliselt süsteemi soojuskadusid. Mõnes hoones hõlmab see ka tarbijaid, mille soojustarbimist eraldi alamarvestitega ei mõõdata. Näiteks U05b hoones on 2023 aastal alamarvestitega mõõtmata 56% soojustarbimisest. U06A hoones on mõõtmata 44% ning U06 hoones 36% soojustarbimisest (joonis 4.6). Mida suurem osa energiast tarbija tüübi põhisel mõõdetakse, seda täpsemalt on võimalik hoone energiakasutust analüüsida.



Joonis 4.7 Alamarvestitega hoonete soojusenergia jagunemine

Hoone soojuse eritarbimine arvestab hoone köetavat pindala (joonis 4.8). Suurima soojusenergia eritarbimisega 2023. aasta andmetel on hoone U04B, eritarbimisega 615 kWh/m<sup>2</sup>, erinedes väga suures osas ülejäänud uuritavatest hoonetest, mille eritarbimine jäi vahemikku 230 kWh/m<sup>2</sup> kuni 45 kWh/m<sup>2</sup>. Ülejäänud hoonete soojusenergia eritarbimised niivõrd suurelt ei erinenud. Vähima erisoojustarbimisega hoone oli LIB, mille eritarbimine oli 45kWh/m<sup>2</sup>. Kuna U04B erineb eritarbimise poolest ülejäänud hoonetest väga suurel määral, olles peaaegu 3 korda suurema eritarbimisega, tuleks autori arvates selle hoone soojustarbimise uurimisse rohkem süveneda.



Joonis 4.8 2023. aasta soojusenergia eritarbimine

## 4.2 Energiasääst

Peatükis kirjeldatakse hoone energiasäästupotentsiaali ruumide kütteenenergia ning ventilatsiooniõhu soojendamisele kuuluva energia vähendamisel. Lisaks on peatükis 4.2.2 toodud hoone U04B energiasäästupotentsiaali arvutamise näide.

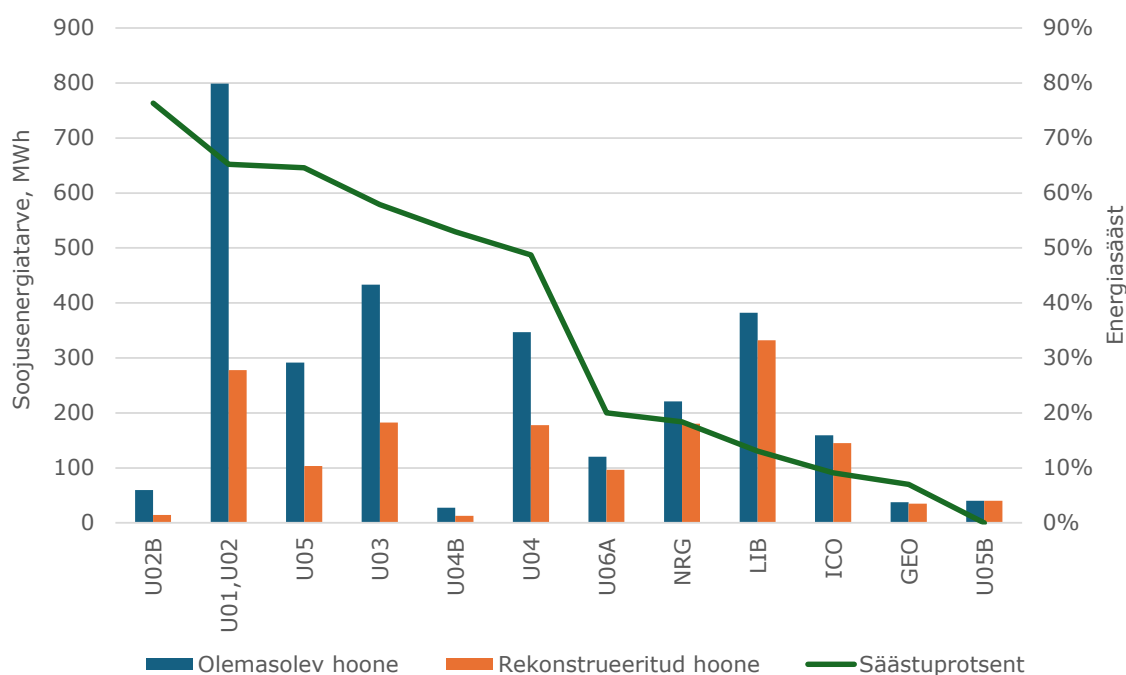
### 4.2.1 Hoonete kütte soojusenergia säästupotentsiaal

Sofia Vasmani doktoritöö hõlmab TalTechi hoonete soojuserikadude andmepõhist analüüsi, mille tulemused on toodud lisa 1. Käesoleva magistr töö raames on kasutatud S. Vasmani leitud tulemusi kirjeldamiseks uuritavate hoonete soojuserikadu ning võrreldud seda võimaliku saavutatava soojuserikaduga. Töös arvestatakse, et täisrekonstrueerimise tagajärjel on võimalik saavutada hoonete soojuserikadu koetava pinna ruutmeetri kohta  $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (joonis 3.1).

Joonisel 4.19 on kujutatud hoonete baasaastale taandatud mõõdetud soojusenergiatarve, soojusenergiatarve arvestades soojuserikadu  $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ning potentsiaalne energiasäästu protsent. Suurim ruumide kütte energiasääst

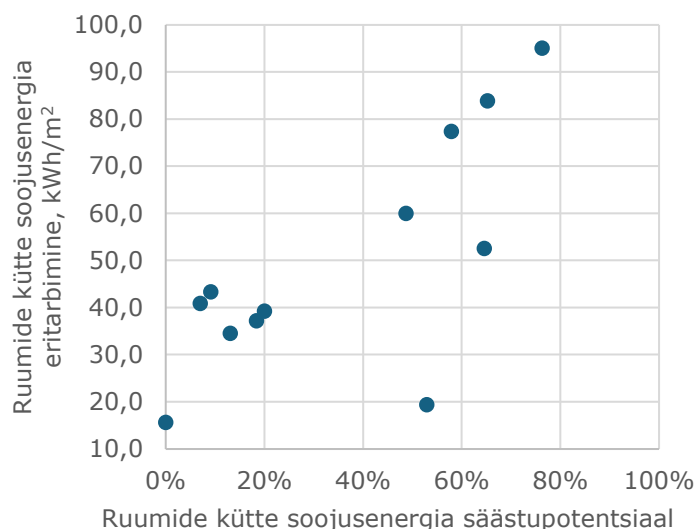


protsentuaalselt, 76%, on võimalik saavutada hoones U02B, kus ruumide kütteenergia osakaal kogu hoone tarbitavast soojusenergiast on 65%. U02B hoone pindala on uuritavate hoonete mõistes väike, mistõttu olenemata suurest protsentuaalsest energiasäästust, on sääst ülejäänud hoonete energiasäästupotentsiaaliga võrreldes marginaalne. Võrreldes hoonepõhist ruumide kütteenergia säästupotentsiaali ning protsentuaalset võimalikku energiasäästu on näha, et suur energiasäästuprotsent ei indikeeri suurt reaalset energiasäästu (joonis 4.19).



Joonis 4.9 Hoonete kütte soojusenergiatarbe säästupotentsiaal

Ruumide kütte soojusenergia eritarbimist on joonisel 4.10 võrreldud arvatud säästuprotsendiga. Hooned, mille ruumide kütte eritarbimine on üle 50kWh/m<sup>2</sup> on säästupotentsiaaliga ca 50% või rohkem ruumide kütteks tarbitavast soojusenergiast. Erandiks on U04B hoone, mille eritarbimine on 19,4 kWh/m<sup>2</sup>, säästuprotsent sealjuures 53%.

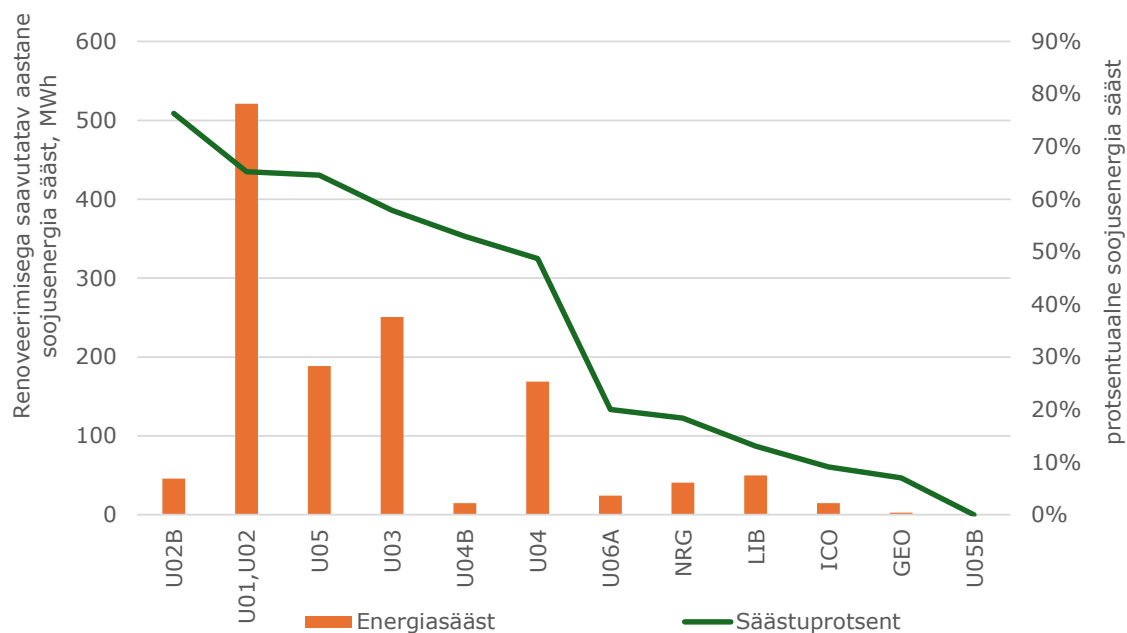


Joonis 4.10 Ruumide kütte eritarbimise ja säästupotentsiaali seos

Kõige suurem hoonete kütte energiasääst on võimalik saavutada hoonete U01 ning U02 renoveerimisel, mille tagajärjel ulatub soojusenergia potentsiaalne sääst kuni 521 MWh-ni aastas (joonis 4.11), mis on 18% kogu uuritava hoonestiku praegusest ruumide kütmisele kulutatavast soojusenergiast. Kuna antud hoonete soojusenergia peaarvesti on ühine, on ka nende keskmine soojuserikadu leitud kahe hoone peale kokku. Lisaks saab välja tuua teised suurema energiasäästuga hooned – U03, U05, U04 (168MWh).

U03, mille potentsiaalne soojusenergia sääst rekonstrueerimise tagajärjel oleks 251MWh, eritarbimise osas teiste hoonete seast välja ei paista, kuid hoone kütte tarbimine moodustab soojatarbimisest 76%, seega on säästupotentsiaal hoone soojustarbimise mõistes pigem suur. U05 säästupotentsiaal on 189MWh, moodustades ruumide küttest 65% ning ka selle hoone puhul kasutab ruumide küte hoone tarbitavast soojusenergiast üle poole - 59%, mille tõttu on ruumide kütte säästupotentsiaal hoone soojusenergiatarbimisest korralik osa. U04 hoone säästupotentsiaal ruumide kütelt on 168MWh, kuid selles hoones moodustab enamiku soojatarbimisest ventilatsiooni osa, seega hoone üldises arvestuses on ruumide kütte arvelt energiasääst pigem väike.

Hooned U01, U02 ja U03, U04, U05, on uuritavatest hoonetest kõige vanemad, neist esimene, U05 ehitati aastal 1964, mis teeb hoone 60 aasta vanuseks. Autori hinnangul on ülikoolilinnaku soojusenergiakasutuse vähendamise vaatenurgast mõistlik uurida energiasäästu potentsiaali süvitsi hoonete U01, U02, U03 ning U05 kohta. U04 puhul moodustab soojatarbimisest suure osa ventilatsioon, seega selle puhul tuleks esmalt vaadelda ventilatsiooni tarbimist ning säästupotentsiaali.



Joonis 4.11 Hoonete kütte energiasääst

#### 4.2.2 U04B hoone ventilatsiooniõhu kütteenergia säästupotentsiaali arvutus

Õppehoonet U04B teenindab neli sissepuhke-väljatõmbe ventilatsiooniseadet – SV1, SV2, SV3, SV4, millest SV1 ning SV2 teenindavad üldalaseid ning SV3 ja SV4 laboreid (tabel 4.1). Projektdokumentatsioonist on leitud seadmete mugavusrežiimi õhuvooluhulgad. Säästurežiimi vooluhulgad on arvatud vaatavalt valemile 3.7. Näitena on toodud SV1 seadme säästurežiimi õhuvooluhulga arvutus:

$$L_S = L_M \cdot \sqrt{\frac{P_S}{P_M}} = 1,95 \cdot \sqrt{\frac{60}{120}} = 1,38 \text{ m}^3/\text{s}$$

SV2 režiimidele vastavaid sissepuhkeventilaatori arendatavaid rõhkusid BMS-is välja toodud ei ole, mistõttu on säästurežiimi õhuvooluhulga arvutamiseks kasutatud poolt mugavusrežiimi õhuvooluhulka, ehk  $0,5 \cdot 1,15 = 0,58 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Tabel 4.1 U04B ventilatsiooniseadmete parameetrid

<b>U04B</b>	<b>SV1</b>	<b>SV2</b>	<b>SV3</b>	<b>SV4</b>
Teenindusala	Üldventi- latsioon	Üldventi- latsioon	Laborid	laborid
Mugavusrežiimi sissepuhke õhuvooluhulk, m <sup>3</sup> /s	1,95	1,15	2,85	2,94
Säästužiimi sissepuhke õhuvooluhulk, m <sup>3</sup> /s	1,38	0,58	-	-
Soojustagasti tüüp	Vahesoojus- kandjaga	rootor	puudub	puudub
Soojustagasti temperatuuri kasutegur	0,43	0,7	-	-

Ventilatsiooniseadmete nädala töögraafikud on toodud tabelites 4.2 kuni 4.5, kus „1” tähistab mugavusrežiimi ning „0,5” säästurežiimi. Veerg 1 tähistab tunde ööpäevas 0-23 ning rida 1 tähistab nädalapäevi 1-7.

Tabel 4.2 U04B SV1 töögraafik

<b>U04B_SV1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
8	1	1	1	1	1	0	0
9	1	1	1	1	1	0,5	0
10	1	1	1	1	1	0,5	0,5
11	1	1	1	1	1	0,5	0,5
12	1	1	1	1	1	0,5	0,5
13	1	1	1	1	1	0,5	0,5
14	1	1	1	1	1	0,5	0,5
15	1	1	1	1	1	0,5	0,5
16	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
17	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
18	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
19	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4.3 U04B SV2 töögraafik

<b>U04B_SV2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
6	1	1	1	1	1	0	0
7	1	1	1	1	1	0	0
8	1	1	1	1	1	0	0
9	1	1	1	1	1	0	0
10	1	1	1	1	1	0	0
11	1	1	1	1	1	0	0
12	1	1	1	1	1	0	0
13	1	1	1	1	1	0	0
14	1	1	1	1	1	0	0
15	1	1	1	1	1	0	0
16	1	1	1	1	1	0	0
17	1	1	1	1	1	0	0
18	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
19	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4.4 U04B SV3 töögraafik

<b>U04B_SV3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1

Tabel 4.5 U04B SV4 töögraafik

<b>U04B_SV4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1

Liites kokku kõik töötunnid igas päevas iga seadme ning töörežiimi kohta eraldi, korrutades need vastava töörežiimi õhuvooluhulgaga on leitud seadme keskmine päevane õhuvooluhulk vastavalt töörežiimile (tabel 4.6).

Tabel 4.6 U04B ventilatsiooniseadmete keskmised päevased õhuvooluhulgad, m<sup>3</sup>/päevas

<b>Seade, režiim</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
SV1 mugavus.	56160	56160	56160	56160	56160	0	0
SV1 sääst.	39711	39711	39711	39711	39711	34747	29783
SV2 mugavus.	49680	49680	49680	49680	49680	0	0
SV2 sääst.	8280	8280	8280	8280	8280	0	0
SV3 mugavus	246240	246240	246240	246240	246240	246240	246240
SV3 mugavus	246240	246240	246240	246240	246240	246240	246240

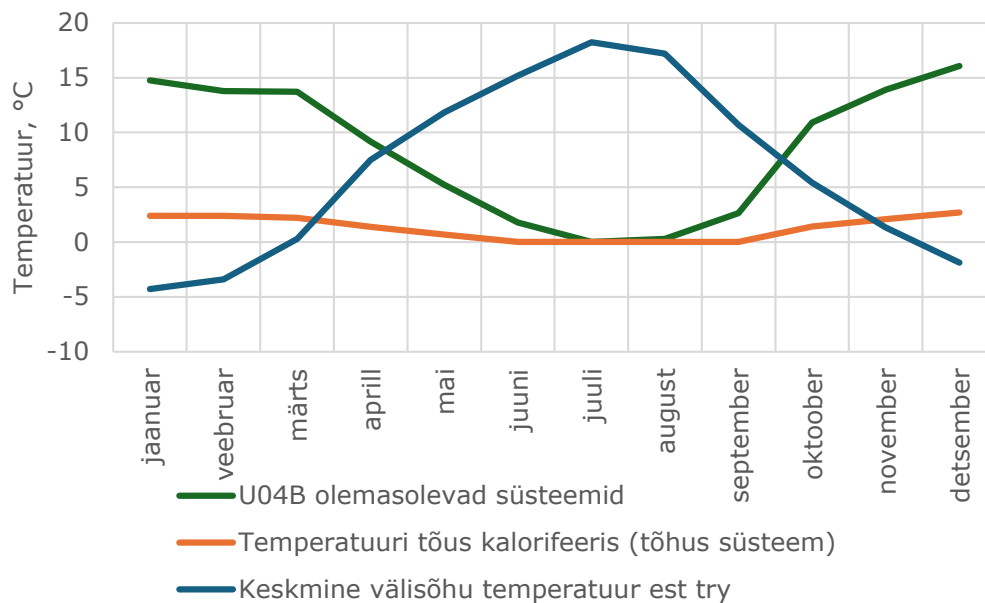
Korrutades tulemusi vastava nädalapäeva arvuga kuus (2023. aastal) ja need summeerides, on leitud ühe kuu kindla nädalapäeva õhuvooluhulk. Näitena SV1 esmaspäeva õhuvooluhulga arvutus jaanuari kuu kohta (valem 3.6):

$$\begin{aligned}
 L_{k=1} &= \sum_{i=1}^7 (L_m \cdot h_{mi} + L_s \cdot h_{si}) \cdot 3600 \cdot n_i = \\
 &= (1,95 \cdot 8 + 1,38 \cdot 8) \cdot 3600 \cdot 5 + \\
 &\quad (1,95 \cdot 8 + 1,38 \cdot 8) \cdot 3600 \cdot 5 +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (1,95 \cdot 8 + 1,38 \cdot 8) \cdot 3600 \cdot 4 + \\
& (1,95 \cdot 8 + 1,38 \cdot 8) \cdot 3600 \cdot 4 + \\
& (1,95 \cdot 8 + 1,38 \cdot 8) \cdot 3600 \cdot 4 + \\
& (1,95 \cdot 0 + 1,38 \cdot 7) \cdot 3600 \cdot 4 + \\
& (1,95 \cdot 0 + 1,38 \cdot 6) \cdot 3600 \cdot 5 = \\
& = 2398032 \text{ m}^3/\text{kuus}
\end{aligned}$$

Kogu hoone nelja ventilatsiooniseadme summaarne õhuvooluhulk kuude kaupa on toodud joonisel 4.13. Järgmiseks on leitud hoone iga kuu keskmine õhutemperatuuri tõus ventilatsiooniseadme küttekalorifeeris vastavalt valemile 3.8. Näitena on arvatud U04B seadmete keskmine õhutemperatuuri tõus jaanuaris. Iga kuu temperatuuri tõus kalorifeeris on toodud joonisel 4.12.

$$\Delta t_k = \frac{Q}{L_k \cdot \rho \cdot c} = \frac{90\,890\,000}{19\,180\,126 \cdot 1,2 \cdot 1000} = 14,2^\circ\text{C}$$



Joonis 4.12 Välisõhu temperatuur ja temperatuuri tõus kalorifeeris tõhusa süsteemi puhul

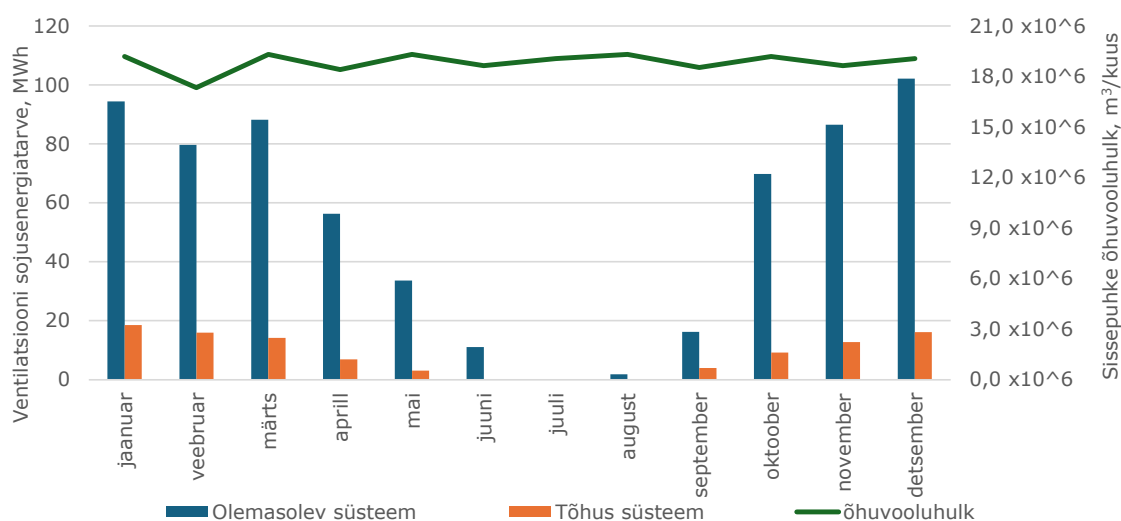
Energiasäästupotentsiaali analüüsiks on töö raames tehtud eeldus, et tõhusat ventilatsioonisüsteemi iseloomustab tasakaalutemperatuur 15°C ning soojustagasti efektiivsus 85%. Selle alusel on vastavalt valemile 3.9 leitud tõhusa süsteemi temperatuuri tõusu küttekalorifeeris. U04B hoone jaanuari kohta on arvutus järgmine:

$$y = -0,15x + 2,25 = -0,15 \cdot (-1) + 2,25 = 2,4^\circ\text{C}$$

U04B ventilatsiooniõhu temperatuuri tõus küttekalorifeeris on kujutatud joonisel 4.12. Samal graafikul on näidatud ka tõhusa ventilatsioonisüsteemi temperatuuri tõus kalorifeeris ning välisõhu temperatuur.

Vastavalt tõhusa süsteemi temperatuuri tõusule on valemi 3.10 alusel arvatud selle soojustarbimine (joonis 4.13). Järgnevalt on arvatud U04B jaanuari soojustarbimine eeldusel, et hoonet teenindavad tõhusad ventilatsioonisüsteemid:

$$Q_{s,k} = L_k \cdot \rho \cdot c \cdot y_k = 19\,180\,126 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 2,4 = 15344101 \text{ Wh} = 15,34 \text{ MWh}$$



Joonis 4.13 U04B summaarne SP õhuvooluhulk ja ventilatsiooni soojustarbimine

Lisaks soojustarbimisele tõhusa ventilatsioonisüsteemi korral, on arvatud aastane soojusenergia sääst (3.12) ning säästuprotsent (3.11).

$$n_Q = 1 - \frac{Q_{s,k}}{Q_k} = 1 - \frac{95,54}{616,01} = 84\%$$

$$Q_s = Q_k - Q_{s,k} = 616,01 - 95,54 = 520,47 \text{ MWh}$$

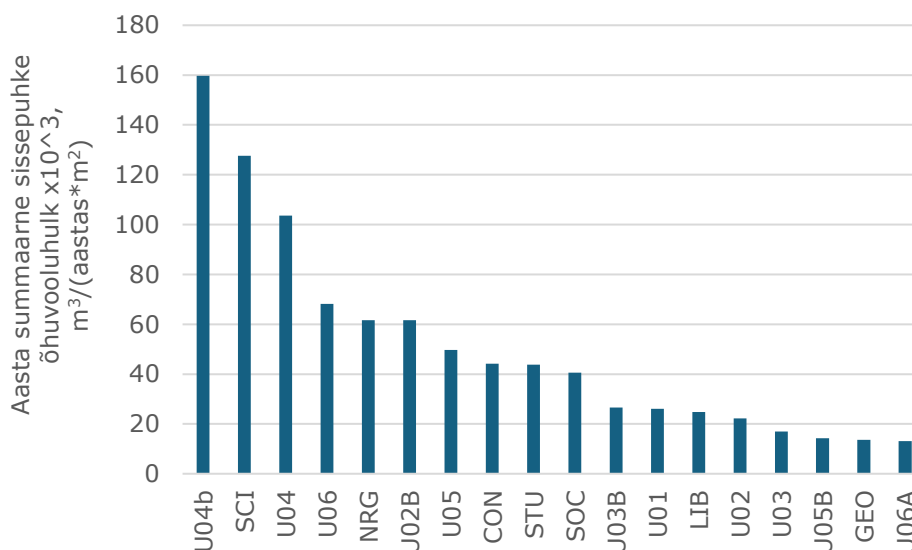
U04B ventilatsioonisüsteemi võimalik soojusenergia sääst on 520,47 MWh, mis on 84% nende hetkel tarbitavast soojusenergiast. Hoonet teenindavad 4 ventilatsiooniseadet (lisa 1), millest kaks süsteemi on soojustagastuseta. Siinkohal võib eeldada, et suure ventilatsiooni soojatarbe tekitabki soojustagastite puudumine. Tõhusa ventilatsioonisüsteemi soojustagasti temperatuuri suhtarvuna on käesoleva töö kontekstis arvestatud 85%. Soojustagastita seadmed hoones U04B teenindavad laboriruumi ning olenevalt labori tüübist, ei pruugi 85% temperatuuri suhtarvule vastav soojustagasti ventilatsioonisüsteemidesse sobida ning tuleb kasutada vähem efektiivset



soojustagastit, millisel juhul on saavutatav energiasääst arvatust väiksem. Olenemata sellest, on autori hinnangul mõistlik hoone ventilatsioonisüsteemide energiatarbimist põhjalikumalt uurida, sest hoone soojusenergia eritarbimine, seega ka ventilatsiooni soojusenergia eritarbimine on ülejäänud uuritavate hoonetega võrreldes väga suur.

### 4.2.3 Ventilatsiooniõhu kütteenergia säästupotentsiaal

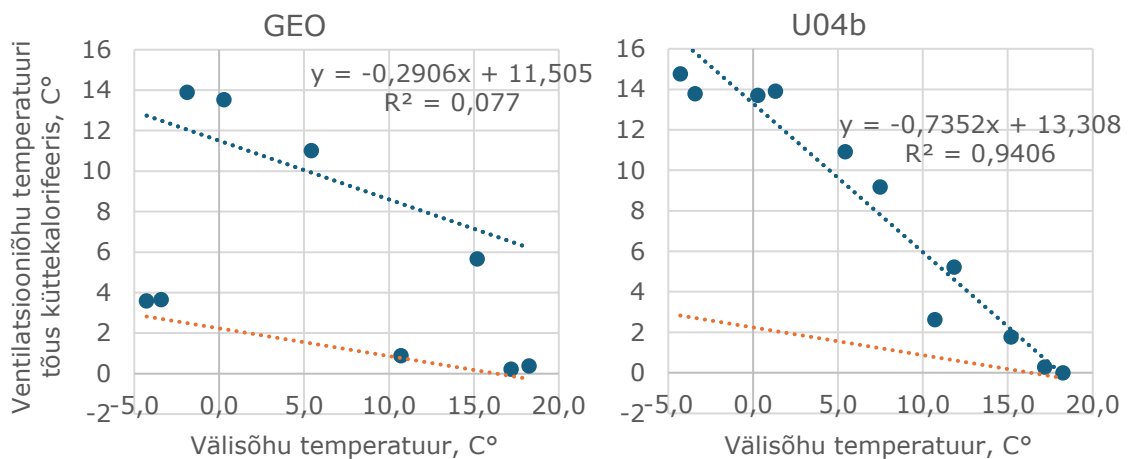
Tallinna Tehnikaülikooli linnaku 15 hoone (U01, U02, U02B, U03, U03B, U04, U04B, GEO, U05, U05B, U06, U06A, NRG, SOC, LIB) ventilatsioonisüsteemid on 2023. aastal tarbinud kokku 3809MWh soojusenergiat. Antud peatükis on uuritud soojusenergia säästupotentsiaali, mille võiks tagada tõhusa soojustagastusega ventilatsioonisüsteemide kasutamine käsitletavates hoonetes. Eelnevas peatükis on toodud hoone U04B säästupotentsiaali leidmise näide. Tõhusat ventilatsioonisüsteemi iseloomustab efektiivne soojustagastus, mida ilmestab välisõhu temperatuuri ja ventilatsiooniseadme küttekalorifeeris õhutemperatuuri tõusu seos. Olemasolevate süsteemide temperatuuri tõus kalorifeeris on leitud hoone ventilatsiooni aastase soojustarbimise ning summaarse aastase õhuvooluhulga alusel. Suurim aastane ventilatsiooniõhu vooluhulk hoone köetava pindala kohta on U04B hoones, milles on õhuvooluhulk 159 700 m<sup>3</sup>/(aastas · m<sup>2</sup>) (joonis 4.14).



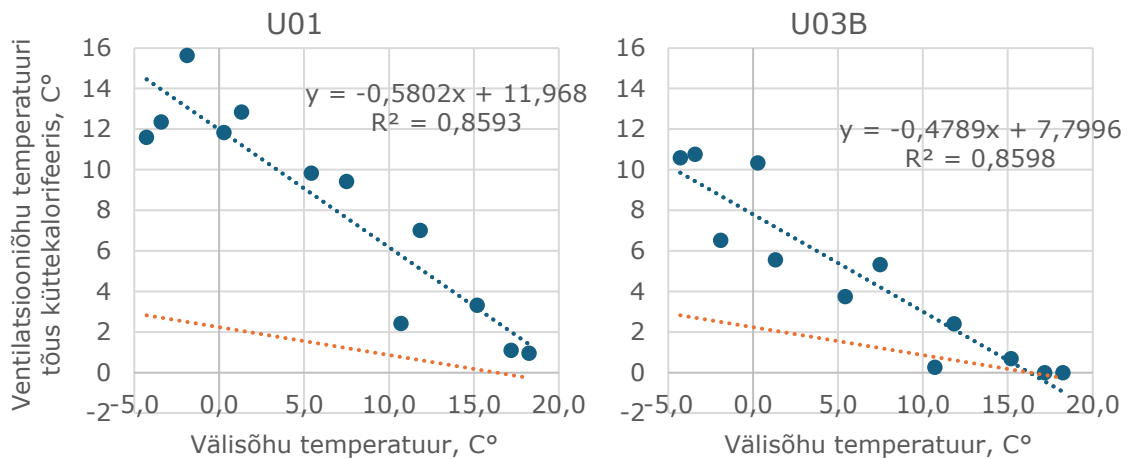
Joonis 4.14 Hoonete summaarne sissepuhke õhuvooluhulkaastas x10<sup>3</sup>

Töös analüüsiti õhutemperatuuri tõusu ventilatsiooniseadme küttekalorifeeris ning välisõhu temperatuuri seost olemasolevate süsteemide ning teoreetilise tõhusa ventilatsioonisüsteemi puhul. Tõhusa süsteemi puhul on töös arvestatud

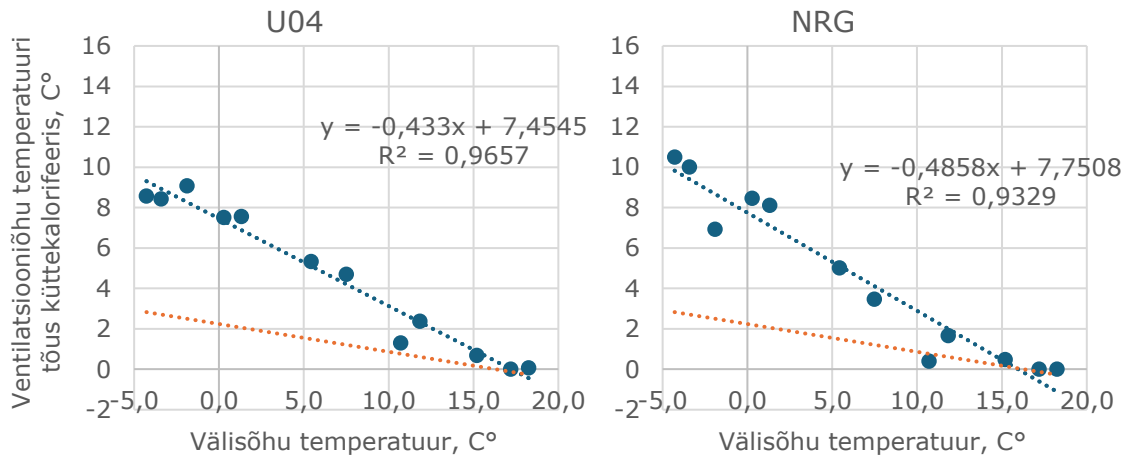
tasakaalutemperatuuriga 15°C ning eeldusliku soojustagasti efektiivsusega 85%. Nende võrdlus võimaldab hinnata potentsiaalset energiasäästu. Seda kirjeldavad joonised 4.15-4.22, kus sinise joonega on kujutatud 2023. aastal mõõdetud ventilatsiooni soojatarbimise alusel leitud hoone kuu keskmist temperatuuri tõusu küttekalorifeeris vastavalt välisõhu temperatuurile ning oranžiga on näidatud sama seos etalon- ehk tõhusa süsteemi kohta. Enim erineb etalonsüsteemist GEO ventilatsioonisüsteem, ning ka U04B ja U01 ventilatsioonisüsteemid erinevad etalonist suuresti, seega nendelt hoonetelt võiks eeldada suurt ventilatsiooni soojusenergia säästuprotsenti.



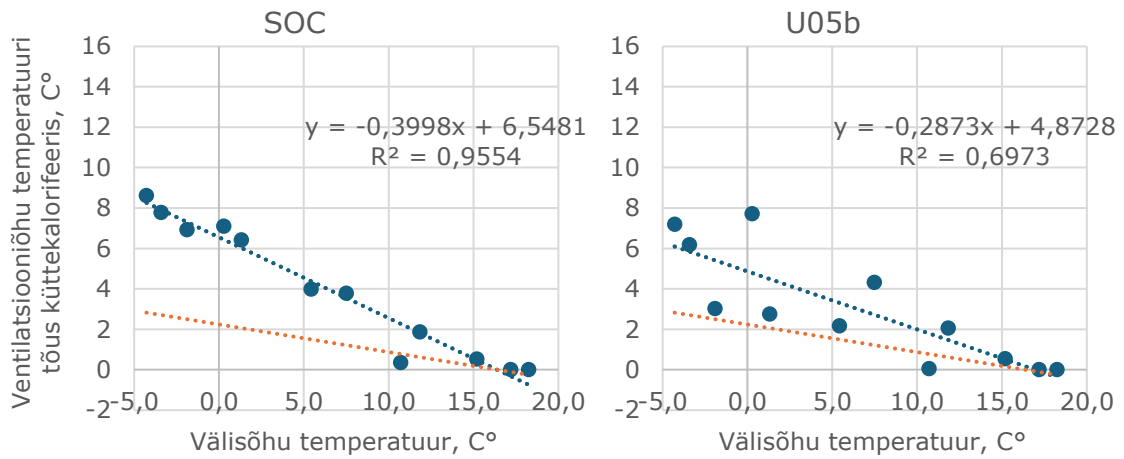
Joonis 4.15 GEO ja U04B temperatuuri tõus kalorifeeris



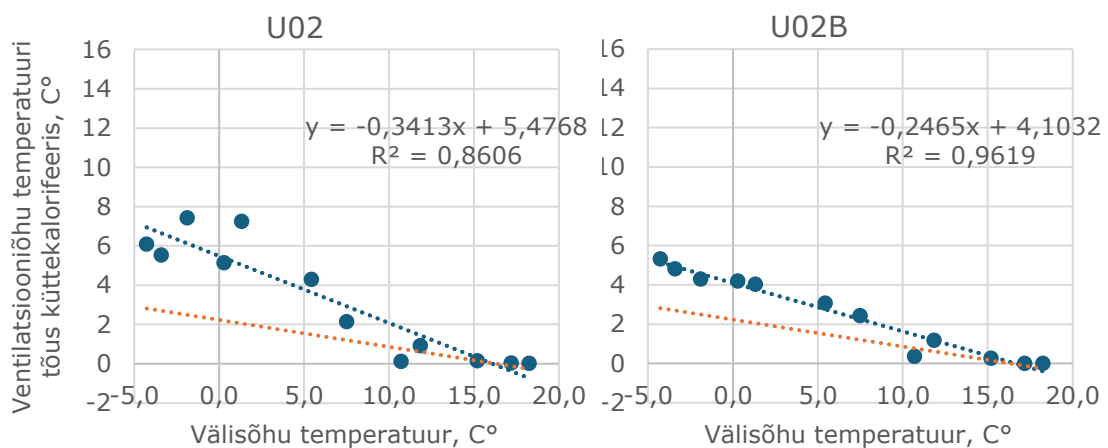
Joonis 4.16 U01 ja U03B temperatuuri tõus kalorifeeris



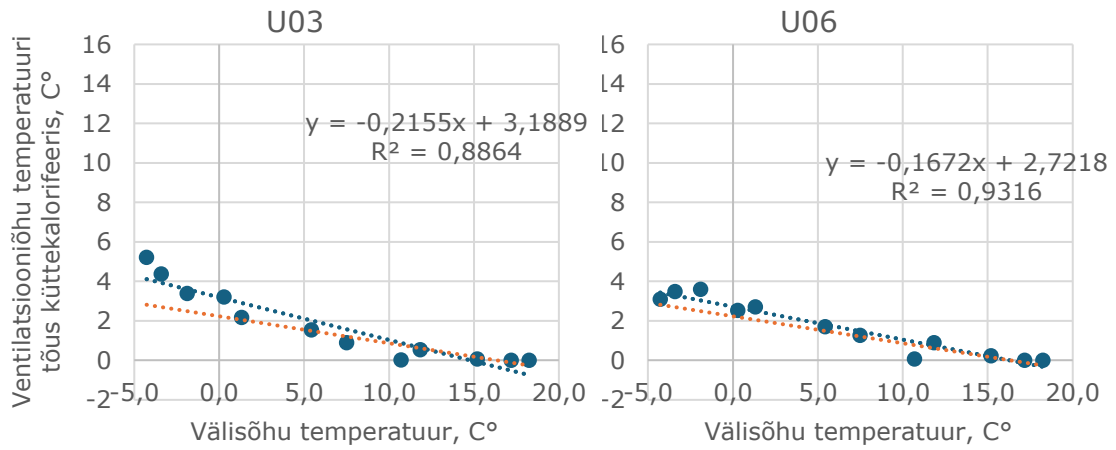
Joonis 4.17 U04 ja NRG temperatuuri tõus kalorifeeris



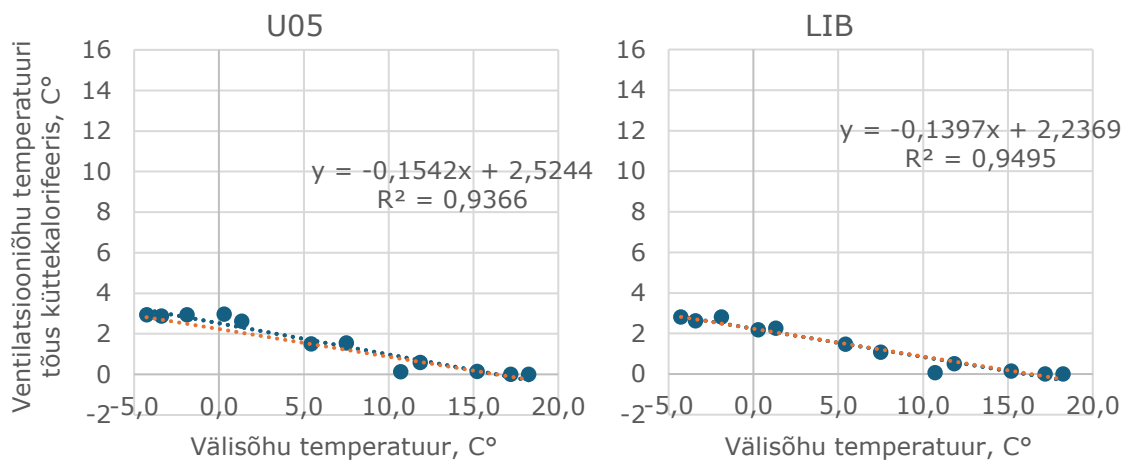
Joonis 4.18 SOC ja U05B temperatuuri tõus kalorifeeris



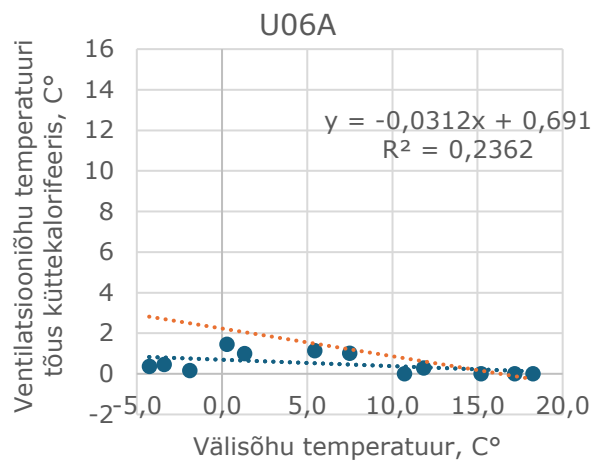
Joonis 4.19 U02 ja U02B temperatuuri tõus kalorifeeris



Joonis 4.20 U03 ja U06 temperatuuri tõus kalorifeeris

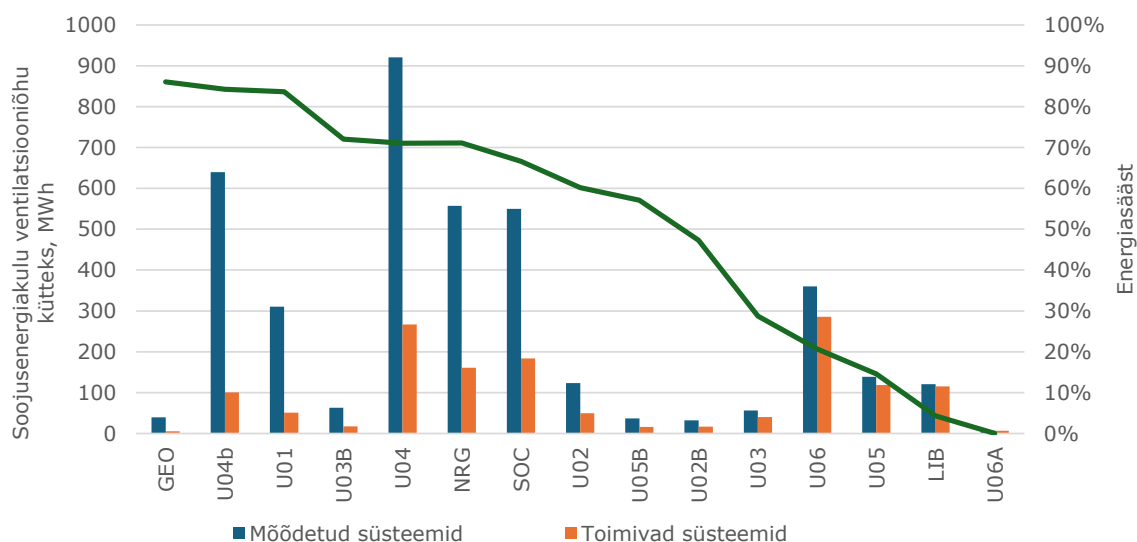


Joonis 4.21 U05 ja LIB temperatuuri tõus kalorifeeris



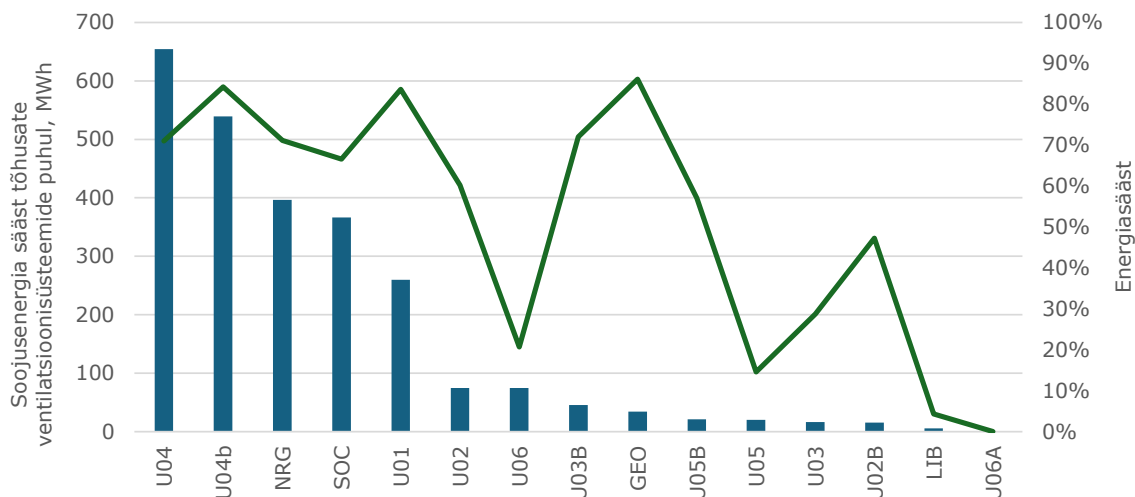
Joonis 4.22 U06A temperatuuri tõus kalorifeeris

Joonistel 4.15-4.22 kujutatud seosed annavad ülevaate hoonete ventilatsiooniõhu kütte energiasäästupotentsiaalidest. Mida rohkem erineb mõõdetud tulemuste põhjal arvatud hoone ventilatsiooniõhu temperatuuri tõus etalonsüsteemi omast, seda suurem protsentuaalne energiasääst on teoreetiliselt võimalik saavutada. Hoonete U06A, LIB, U05, U06 ventilatsioonisüsteemid on antud analüüsi tulemustel võrdlemisi tõhusad, energiasäästuprotsent on alla 20%. U03 hoone süsteemide parameetrid erinevad etalonsüsteemi parameetritest vähesel määral, ehk ca 29%. Ülejäänud hoonete puhul on erinevus ja seetõttu ka energiasäästuprotsent suurem (joonis 4.23).



Joonis 4.23 Aastane soojusenergia kulu ventilatsiooniõhu kütteks

Suurim protsentuaalne energiasääst, 86%, on võimalik saavutada hoones GEO, kus on ainult üks kaugkütte soojusel töötava küttekalorifeeriga ventilatsiooniseade. Seadme aastane soojustarbimise potentsiaalne sääst on 34,12 MWh (joonis 4.23), mis on alla 1% töö raames uuritavate hoonete aastasest ventilatsioonisüsteemide soojusenergia tarbimisest, seega kogu ülikoolilinnaku mõistes väga väike. Hoone U01 tegelik energiasäästupotentsiaal on väiksem, kui tulemustes kajastatud, kuna magistritöö tegemise hetkel ei olnud võimalik hoone kuuest ventilatsiooniseadmest ühe, sööklad teenindava seadme, vooluhulga infot saada.



Joonis 4.24 Ventilatsiooni soojusenergia säästu ja säästuprotsendi seos

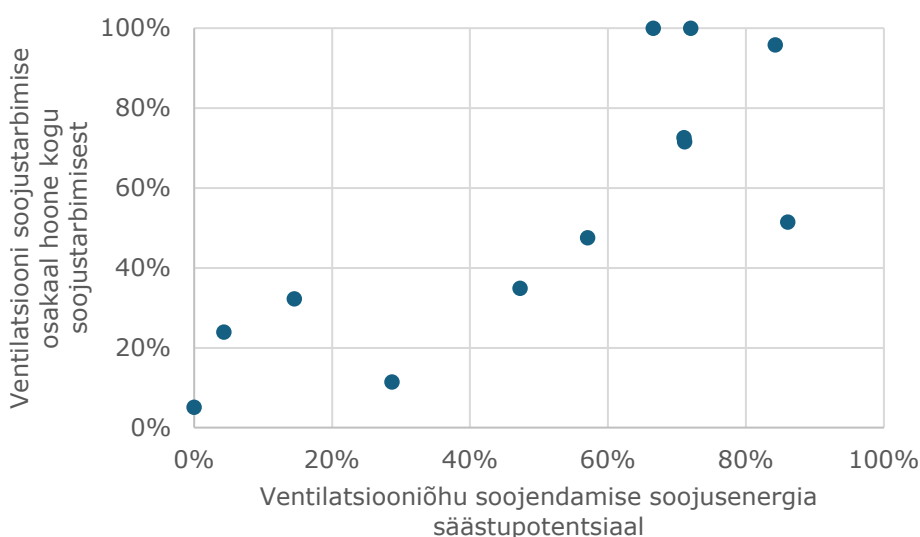
Suure säästuprotsendiga on hoone U04B ventilatsioonisüsteem, mille energiatarbimine on 639,8 MWh aastas (joonis 4.23), ning eritarbimine 452,2 kWh/m<sup>2</sup> (joonis 5.8). Hoone võimalik ventilatsioonisüsteemi soojusenergia sääst on käesoleva töö arvutusmetoodika kohaselt 539,2 MWh, mis moodustab 84% ventilatsiooni soojustarbimisest (joonis 4.23) ning 62% kogusoojustarbimisest hoones. Hoones on neli sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi, millest kaks teenindavad üldalaseid ning kaks laboriruumide ventilatsioonisüsteemid ei ole soojustagastust, millest tingitult on autori hinnangul hoonel suur energiasäästupotentsiaal (tabel 3.2). Hoone energiasäästupotentsiaali täpsustamiseks tuleks uurida laboriruumide kasutusotstarvet, et hinnata kas 85% soojustagastuse temperatuurisuhtarvuga soojustagasti tüüp sobib konkreetsete laborite ventilatsioonisüsteemidega.

Kõige rohkem soojusenergiat on tõhusa ventilatsioonisüsteemi kasutamise korral võimalik kokku hoida hoones U04 (joonis 4.23), mille ventilatsiooniõhu soojendamise energiakulu on 920,9 MWh (joonis 5.23), millest oleks võimalik säästa 71%, ehk 654,3 MWh (joonis 4.24). U04 hoones on 5 aktiivset ventilatsiooni sissepuhke-väljatõmbesüsteemi (tabel 3.2), mille soojus saadakse kaugküttevõrgust. Kõik viis on soojustagastusega seadmed, nendest kolm on aga vahesoojuskandjaga seadmed, mille efektiivsus on reeglina väiksem kui 85%, jäädes vahemikku 40-55% [11]. Selle tõttu on oluline hoone täpne energiasääst kindlasti põhjalikult üle kontrollida, juhul kui seadmed ei saa rootorsoojustagastiga töötada, ei ole võimalik arvatud säästu saavutada.

Suure energiasäästupotentsiaaliga ventilatsioonisüsteemid on lisaks hoonetes NRG ja SOC. NRG ventilatsioonisüsteemide soojustarbimine on 557,14MWh/a, moodustades

hoone soojusenergiatarbimisest 69%. Säästupotentsiaal 396,4MWh on seega suure kaaluga. SOC hoone säästupotentsiaal ventilatsiooni küttest on 366,5 MWh, mis moodustab ventilatsiooniõhu kütte soojusenergiatarbest 67% ning kogu hoone soojusenergiast 36%.

Eelmainitud ning ka U04 ja U04B hoonete ventilatsioonisüsteemide soojustarbimine moodustab kogu hoone soojustarbimisest üle poole. Joonis 4.25 kirjeldab ventilatsiooniõhu soojendamise energiatarbe osakaalu kogu hoone soojusenergiatarbimisest ning selle seost soojustarbimise säästupotentsiaaliga. Kui hoone ventilatsiooniõhu soojendamise energia osakaal kogu hoone kütteenergiast on üle 40%, on uuritavate hoonete näitel säästupotentsiaal üle 60%. Töö autori hinnangul tuleks ventilatsiooniõhu kütmise energiasäästu täpsemas analüüsis keskenduda hoonetele, mille ventilatsiooni soojustarbimise osakaal hoone soojustarbimisest on üle 40%.

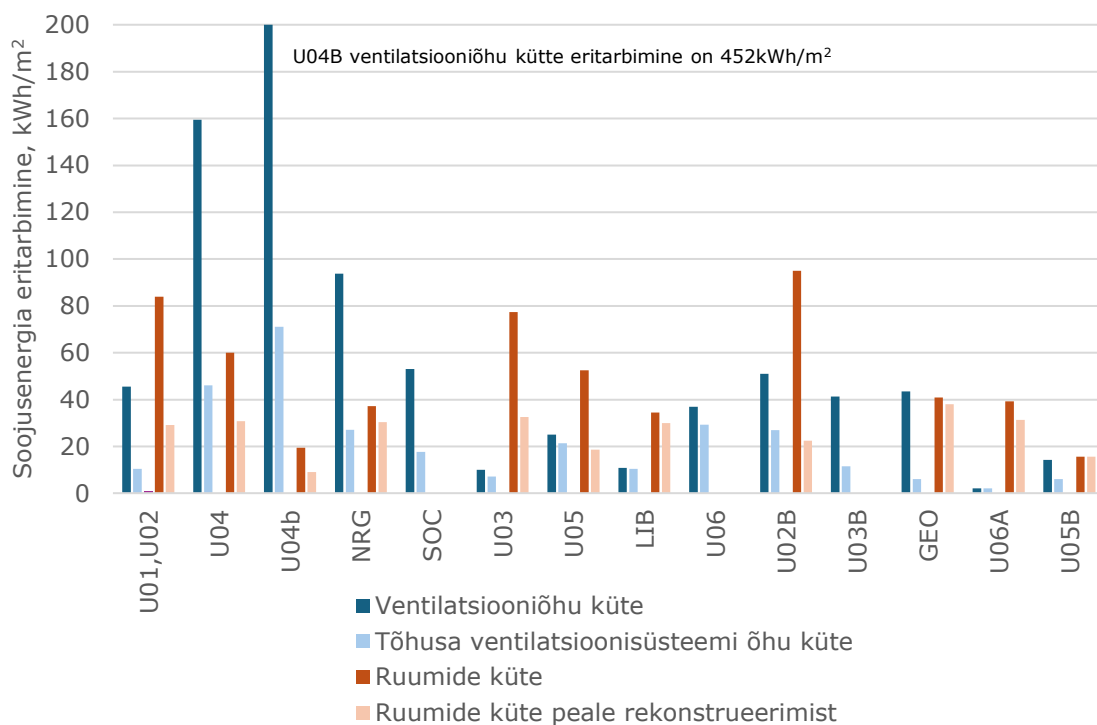


Joonis 4.25 Ventilatsiooniõhu kütteenergia osakaalu kogu soojusenergia tarbest ning selle säästupotentsiaali seos

#### 4.2.4 Soojusenergia säästupotentsiaal

Magistritöö raames on uuritud TalTech hoonete energiasäästupotentsiaali, täpsemalt kütteenergia säästupotentsiaali hoonete renoveerimise ning tõhusate ventilatsioonisüsteemide kasutamise tagajärjel. Analüüsi tulemused on toodud joonisel 4.26 ning tabelites 4.7 ja 4.8. Ruumide kütte eritarbimine hoonete kaupa on pärast säästumeetmete rakendamist pigem sarnane ning ei esine suuri kõikumisi.

Ventilatsiooniõhu kütte eritarbimine efektiivsete süsteemide puhul erineb aga hooneti palju rohkem.



Joonis 4.26 ventilatsiooniõhu kütte ja ruumide kütte eritarbimine

Ruumide kütte ning ventilatsioonisüsteemide eritarbimise Suurim ruumide kütte energiasääst on võimalik saavutada hoonetes U01, U02 ja U03. Suurim ventilatsiooniõhu soojendamise energiasääst on võimalik saavutada hoonetes U04, U04B ja SOC. Võrreldes hoonete renoveerimisega on palju suurem soojusenergiäsääst võimalik saavutada ventilatsioonisüsteemide arvelt. Mõlemad energiasäästuvariandid korraga analüüsitud tulemust ei taga. Kui hooned renoveerimise tagajärjel soojapidavamaks saab, väheneb mõningal määral ka ventilatsioonisüsteemide soojatarbimise vajadus. Ventilatsiooni ning kütte soojusenergia sääst on kujutatud tabelites 4.7 ning 4.8. Lisaks on arvatud rahaline sääst, arvestades Utilitas AS kaugkütte maksumus TalTechile aastal 2023 hinnaga 88,44 €/MWh ilma käibemaksuta.



Tabel 4.7 Hoone kütte energiasääst

Hoone	Soojusenergia kulu (küte)	Soojusenergia kulu renoveeritud hoonel	soojusenergia sääst	soojusenergia sääst
	MWh	MWh	MWh	€
U01,U02	798,9	277,9	521,0	46081
U04	346,7	177,8	168,9	14936
U04b	27,5	12,9	14,5	1286
NRG	221,1	180,5	40,6	3591
U03	433,3	182,4	250,9	22186
U05	291,7	103,2	188,4	16664
LIB	382,0	332,1	49,8	4406
U02B	59,7	14,1	45,6	4033
GEO	37,3	34,7	2,6	230
U06A	120,5	96,4	24,1	2131
U05B	40,4	40,4	0,0	0

Tabel 4.8 Ventilatsiooniõhu soojendamise energiasääst

Hoone	Soojusenergia kulu (vent.)	Soojusenergia kulu, tõhusad seadmed	soojusenergia sääst	soojusenergia sääst
	MWh	MWh	MWh	€
U01,U02	434,2	100,0	334,2	29560
U04	920,9	266,6	654,3	57866
U04b	639,8	100,6	539,2	47685
NRG	557,1	160,7	396,4	35060
SOC	550,2	183,7	366,5	32409
U03	56,0	39,9	16,1	1423
U05	139,0	118,8	20,2	1787
LIB	120,5	115,2	5,2	461
U06	360,2	285,8	74,4	6580
U02B	32,1	16,9	15,2	1342
U03B	62,9	17,6	45,3	4008
GEO	39,6	5,5	34,1	3017
U06A	6,6	6,6	0,0	0
U05B	36,6	15,7	20,9	1850

Kui soojusenergia säästu võimalusi täpsemalt uurida, peaks arvesse võtma, et mõnel juhul võib suure soojusenergiatarbimise taga olla soojustagastite väike efektiivsus, aga lisaks tasuks eraldi uurida ka seadmete reaalselt tööaega ning ventilatsioonisüsteemiga seotud seadmete korrektset töötamist.

## KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks on Tallinna Tehnikaülikooli hoonete elektri- ja soojusenergiabilansside koostamine, mille raames koondati ning analüüsiti mõõdetud tarbimisandmeid. Töö teine eesmärk on energiasäästu potentsiaali analüüsi tarbeks hoonete ventilatsioonisüsteemide parameetrite kaardistamine. Kolmas eesmärk on säästupotentsiaali hindamine hoonete kaupa, mille jaoks on analüüsitud hoonete soojustarbimist ning ventilatsioonisüsteemide parameetreid.

Esmalt on koondatud Tallinna Tehnikaülikooli hoonete 2023. aasta tarbimisandmed. Kasutatud on peaarvestite ning alamarvestite andmeid, mille põhjal on koostatud energiabilansid soojuse ning elektrikasutuse kohta. Suurima elektritarbimisega ning ka elektri eritarbimisega hoone uuritavatest on loodusteadustemaja. Kõige suurem elektritarbija üldplaanis on „muu“, mis hõlmab kõike peale ventilatsiooni, jahutuse, valgustuse ja rentnike. Ventilatsioonisüsteemid tarbivad 18% uuritavate hoonete elektrist ning jahutussüsteemid 5%. Suurim hoone soojusenergiatarve 2023. aastal oli 1320MWh, U04 õppehoonel. Suurima soojuse eritarbimisega hoone oli U04B, mille eritarbimine, 615kWh/m<sup>2</sup>, erines järgnevatest hoonetest peaaegu 3 korda.

Töö raames on uuritud hoonete ventilatsioonisüsteeme. Selle jaoks koondati süsteemide parameetrid projektdokumentatsioonist, hoonehaldussüsteemist, varasematest magistritöödest ning kohapealsel vaatlusel. Valdavalt on kasutusel mehaaniline ventilatsioon ning suurem osa ventilatsiooniseadmetest on varustatud soojustagastiga. Kasutusel on enamasti rootorsoojustagastid, mõne seadme puhul ka plaatsoojustagastid ning vahesoojuskandjaga soojustagasteid on samuti omajagu. Viimased on kasutusel üldiselt laboriruumes teenindavates ning katusel asuvates ventilatsiooniseadmetes.

Kolmanda osana on fokuseeritud hoonete soojusenergia säästule eesmärgiga tuvastada uuritud hoonete valimist suurima säästupotentsiaaliga hooned. Hinnati energiasäästu hoonete kütte arvelt, kasutades selleks olemasolevat uurimust, milles on tuvastatud TalTech hoonete soojuserikadu. Võeti eelduseks, et täisrekonstrueerimise järel võiks hoone soojuserikadu olla 0,4 W/(m<sup>2</sup>K), ning arvutati hoonete potentsiaalne soojustarbimine pärast täisrekonstrueerimist. Suurim sääst hoonete küttelt on võimalik saavutada hoonetes U01, U02, U03, U05 ja U04, nende soojusenergiäsääst summaarselt võib olla kuni 1129MWh.

Töös on analüüsitud ventilatsiooniõhu soojendamise energiasäästu, mis oleks saavutatav tõhusate ventilatsiooniseadmete kasutamisel. Analüüsi tulemusena võib hoonete U06A, LIB, U05, U06 ventilatsioonisüsteeme hinnata kui pigem energiatõhusaid, ehk väikese energiasäästupotentsiaaliga. Suurim soojusenergiasääst oleks võimalik saavutada hoonete U04, U04B, NRG ja SOC hoonete ventilatsioonisüsteemidest, millede aastane säästupotentsiaal kasutatud arvutusmetoodika kohaselt ulatub üle 300MWh. Kogu valimit hinnates saab järeldada, et üle 40% ventilatsiooni soojatarbimise osakaaluga hoonete ventilatsiooni soojatarbimise säästupotentsiaal on üle 60%.

Energiasäästupotentsiaali uuriti kahe erineva soojuse tarbijatüübi kohta. Hoonete rekonstrueerimisel saavutatav ruumide kütte energiasääst on ca 30% väikesem kui ventilatsiooni puhul. Suurem energiasääst on seega võimalik saavutada tõhusaid ventilatsioonisüsteeme kasutades. Edasi tuleks koostada täpsustav analüüs töös leitud suurema säästupotentsiaaliga hoonete energiasäästu hindamiseks.

## SUMMARY

The objective on this master's thesis is to compile a thermal energy balance for each of Tallinn University of Technology buildings using consumption data which was compiled and analyzed. Secondary objective is to map the ventilation systems parameters for the energy saving potential analysis. The third objective is to assess the savings potential per building by analyzing the building's heat consumption, buildings' thermal transmittance and ventilation systems' parameters.

First the consumption data of Tallinn University of Technology buildings in 2023 were compiled. The energy balance graphs for heat and electricity use were compiled based on the data from main- and submeters. The largest energy consumer was the Science department building which also had the largest specific energy consumption. The largest energy consumption was attributed to „other“, which includes everything besides ventilation, cooling, lighting and heaters. Ventilation systems consume 18% of the studied buildings' electricity and cooling consumes 5%. The largest thermal energy consumer in 2023 was U04 with 1320MWh of thermal energy used. The building with the largest specific thermal energy consumption, with 615kWh/m<sup>2</sup> of thermal energy used, was U04B, whose consumption was nearly three times greater than other buildings'.

Buildings' ventilation systems were studied in the scope of this master's thesis. For this purpose, parameters were compiled from projects documentations, building management system, previous master's thesis' and on-site observation. Mostly mechanical ventilation systems are used, most of which are equipped with heat recovery units. Most commonly rotary heat exchangers are used, while some devices use plate heat exchangers. Run around coils are also commonly found in ventilation systems which service laboratories or are installed on roofs.

Third part of the thesis is focused on thermal energy savings with the aim to identify the buildings with the largest energy saving potential. Savings from heating were evaluated based on previously existing research on TalTech buildings' thermal transmittance. The assumption was made that after reconstruction the building's thermal transmittance would be 0,4 W/(m<sup>2</sup>K). Based on that the calculations were made for potential thermal energy consumption after reconstruction. Biggest savings were indicated to be possible from buildings U01, U02, U03, U05 and U04, for which the total savings from thermal energy consumption could be up to 1175MWh.

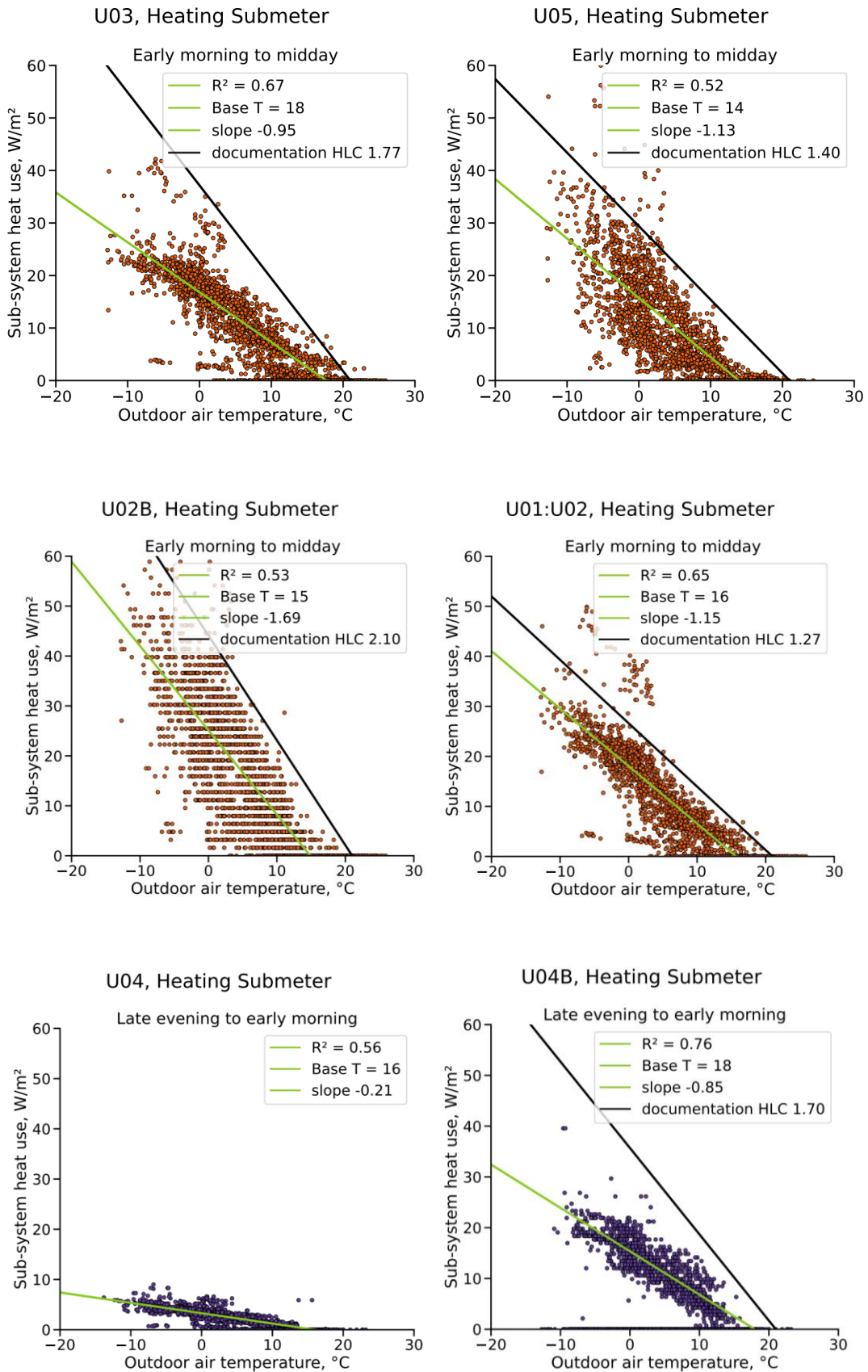
This thesis analyzed the energy savings from ventilation air heating which would be achievable by using efficient ventilation systems. As a result of the analysis the ventilation systems in buildings U06A, LIB, U05, U06 can be determined to be reasonably energy efficient, meaning small possible energy saving potential. The largest energy saving potential is achievable from the ventilation systems in buildings U04, U04B, NRG and SOC for which annual saving potential, according to the calculation methodology used, exceeds 300MWh. Based on the whole sample it can be concluded that the buildings for which over 40% of the thermal energy is used by ventilation systems have a thermal energy consumption saving potential greater than 60%.

Energy saving potential was studied for two different thermal energy consumer types. The energy savings in reconstructed buildings from heating are approximately 30% smaller compared to savings from ventilation. The largest possible energy savings are possible by using energy efficient ventilation systems. In the future a more thorough study should be done for buildings with higher energy saving potential, to assess the precise energy saving potential of the buildings.

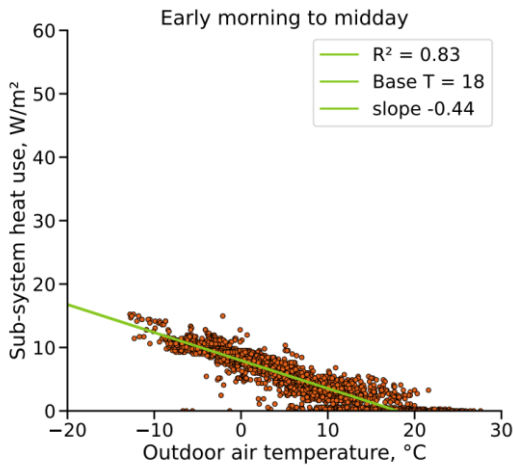
## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] "Hoonete energiatõhususe direktiiv 2024/1275, Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiiv(EL) 2024/1275, [Online.] Available: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L\\_202401275&pk\\_keyword=Energy&pk\\_content=Directive](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401275&pk_keyword=Energy&pk_content=Directive)."
- [2] "Kasvuhoonegaaside (KHG) jalajälg. (2024). [Online.] Available: <https://taltech.ee/rohepoore/kliimanutikas-ulikool/khg-mudel>."
- [3] "K. Lylykangas, P. Walke, 'TalTech GHG inventory 2022', 2023," Tallinn, 2023.
- [4] "Energialiidu juhtimine (2018, Dets. 21). Euroopa parlamendi ja nõukogu määrus. [Online.] Available: <http://data.europa.eu/eli/reg/2018/1999/oj>."
- [5] "Hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia', Majandus- ja Kommunikatsiooniministerium, Tallinn, 2020".
- [6] "Carbon neutral University of Helsinki by 2030', University of Helsinki," University of Helsinki, Helsinki.
- [7] "K. Karpov, 'TalTechi linnaku õppehoone SOC energiatarbimise detailne analüüs ja säästupotentsiaali hindamine', 2022."
- [8] "A. Franco, C. Bartoli, P. Conti, L. Miserocchi and D. Testi, 'Multi-Objective Optimization of HVAC Operation for Balancing Energy Use and Occupant Comfort in Educational Buildings', Energies, mai 202", doi: 10.3390/en14102847.
- [9] R. P. Shea, K. Kissock, and A. Selvacanabady, "Reducing university air handling unit energy usage through controls-based energy efficiency measures," Energy Build, vol. 194, pp. 105–112, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.04.020.
- [10] "Kliimaministerium Hoonete energiatõhususe tööriistad. (2024). [Online.] Available: <https://kliimaministerium.ee/elukeskkond-ringmajandus/energiatohusus-ja-keskkonnasaast/hoone-energiatohususe-tooriistad#normaalaasta-kraadpa>."
- [11] "T. Tark, Hevac. Ventilatsioonisüsteemide soojustagastite kasuteguritest. [Online.] Available: <https://www.hevac.ee/wp-content/uploads/2016/04/Soojustagastite.pdf>."

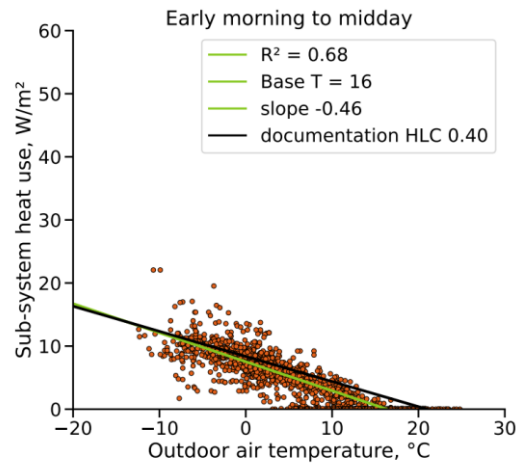
Lisa 1 Hoonete erisoojuskaio andmepõhine analüüs



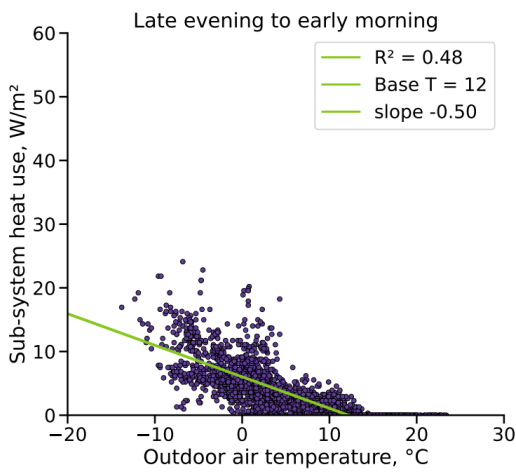
ICO, Heating Submeter



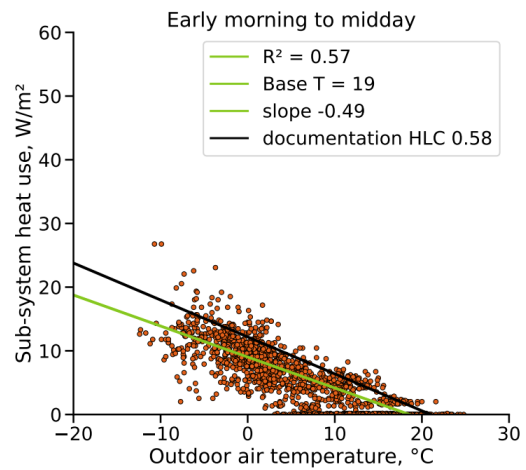
LIB, Heating Submeter



U06A, Heating Submeter



NRG, Heating Submeter



GEO, Heating Submeter

