

Energiatehnoloogia instituut

**ÕPPEHOONETE ENERGIATÕHUSUS NING  
ENERGIAMÄRGISE ARVUTAMINE ÜHE  
ÕPPEHOONE NÄITEL**

**ENERGY EFFICIENCY OF EDUCATIONAL BUILDINGS  
AND CALCULATION OF ENERGY CLASS AS AN EXAMPLE  
OF ONE EDUCATIONAL BUILDING**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Liis Tammekand

Üliõpilaskood 206598EACB

Juhendaja: Anna Volkova, kaasprofessor  
tenuuris, uurimisrühma juht

Tallinn 2023

# 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.

“30” mai 2023

Autor: Liis Tammekand

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

“30” mai 2023.

Juhendaja: Anna Volkova

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ allkirjastatud digitaalselt /

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

Mina Liis Tammekand (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 29.07.2000)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose "Õppehoonete energiatõhusus ning energiamärgise arvutamine ühe õppehoone näitel" (*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Anna Volkova,

(*juhendaja nimi*)

- 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.

---

<sup>1</sup>*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

/ allkirjastatud digitaalselt /

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Liis Tammekand, 206598EACB (nimi, üliõpilaskood)  
Õppekava, peeriala: EACB, Keskkonna-, energia- ja keemiatehnoloogia, peeriala  
energiatehnoloogia (kood ja nimetus)  
**Juhendaja(d):** Anna Volkova, kaasprofessor tenuuris, uurimisrühma juht,  
6203905 (amet, nimi, telefon)

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Õppehoonete energiatõhusus ning energiamärgise arvutamine ühe õppehoone näitel*

(inglise keeles) *Energy Efficiency of Educational Buildings and Calculation of Energy Class as an Example of One Educational Building*

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. uurida olemasolevate õppehoonete energiatõhusust,
2. uurida ja analüüsida õppehoonete küttekoormust ja lahendusi selle vähendamiseks,
3. teostada analüüs ühe olemasoleva õppehoone näitel ning arvutada KEK ja CO<sub>2</sub> heide olemasoleva olukorra ja parandusmeetmete järgselt.

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Teooria osa kirjutamine, artiklite ja RHR uurimine	12.03.23
2.	Analüüsitava õppehoone kirjelduse ja tarbimisinfo analüüsimine	16.04.23
3.	KEK ja CO <sub>2</sub> arvutuste teostamine ja töö vormistamine	28.05.23

**Töö keel:** eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "31" mai 2023.a

**Üliõpilane:** Liis Tammekand "30" mai 2023.a

/ allkirjastatud digitaalselt /

**Juhendaja:** Anna Volkova "30" mai 2023.a

/ allkirjastatud digitaalselt /

**Programmijuht:** Oliver Järvik "30" mai 2023.a

/ allkirjastatud digitaalselt /

# SISUKORD

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE .....	4
EESSÕNA .....	6
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU.....	7
SISSEJUHATUS .....	8
1. ENERGIATÕHUSUS JA KAALUTUD ENERGIAERIKASUTUS .....	10
1.1 Kasutuses olevate hoonete energiatõhusus .....	10
1.2 Kaalutud energiaerikasutus .....	12
1.3 Õppehoonete energiatõhususe klassid .....	14
1.3.1 Soojuskoormus koolimajades .....	14
1.3.2 Õppehoone küttekoormuse juhtimine vastavalt tunniplaanile .....	17
1.4 Soojusenergia kulud ja piirhinnad .....	18
2. ANDMETE ANALÜÜS .....	20
2.1 Kaalutud energiaerikasutuse väärtuse arvutamine .....	20
2.2 CO <sub>2</sub> heitmete arvutamine.....	21
2.3 Olemasoleva olukorra parandusmeetmed.....	22
3. OLEMASOLEVA ÕPPEHOONE ANALÜÜS .....	24
3.1 Analüüsitav koolimaja .....	24
3.2 Tarbimise kirjeldus ja tarbimisinfo .....	24
3.3 Pakutavad parandusmeetmed .....	28
3.4 Kaalutud energiaerikasutus enne ja peale parandusmeetmeid .....	29
3.5 CO <sub>2</sub> heitmed enne ja peale parandusmeetmeid.....	30
3.6 Analüüsitava õppehoone tulemused .....	31
KOKKUVÕTE .....	33
SUMMARY.....	35
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	37

## EESSÕNA

Tulenevalt suurenenud eesmärkidest vähendada süsihappegaaside teket kliimaeesmärkide saavutamiseks on Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi koostatud strateegias toodud eesmärk saavutada mitteiluhoonete energiatõhususe klass C või parem. Õppe- ja teadushoonetel on kliimaeesmärkide saavutamisel suur roll, sest just need on madala energiatõhususega ja nende renoveerimisega on võimalik saavutada kiire ja efektiivne kokkuhoid.

Ühe olemasoleva õppehoone analüüsi näitel on võimalik parandusmeetmetega, mis hõlmavad endas peamiselt seadeväärtuste korrigeerimist ja tehnosüsteemide väiksemahulist parandamist, vähendada kaalutud energiaerikasutust 54 kWh/m<sup>2</sup>a ja seelga parandada energiatõhususe klassi ühe astme võrra. Ühtlasi nende samade meetmetega on võimalik süsihappegaaside heidet vähendada ligi 200 tonni aastas.

Eelnevast tulenevalt on lõputöö eesmärgiks analüüsida Eestis olevate õppehoonete energiatõhusust ja küttekoormust. Energiatõhususe klassi parandamise näitlikustamiseks on arvatud ühe õppehoone olemasoleva olukorra ja pakutud parandusmeetmete järgse olukorra kaalutud energiaerikasutuse väärtus ja CO<sub>2</sub> heide.

Lõputöö on koostatud Tallinnas 2023. Lõputöö teema valiti tulenevalt autori huvist hoonete energiatõhususe ja energiatarbe vastu. Lõputöö teoreetiline sisu on kirjutatud erinevate teadusartiklite ja Ehitisregistri andmete põhjal. Olemasoleva õppehoone analüüsi tarbeks edastas infot õppehoone haldusjuht. Lisaks on kasutatud DeltaE Inseneribüroo poolt kogutud andmeid. Tundliku info ja ärisaladuse lekkimise vältimiseks avalikkusesse ei ole toodud täpseid parandusmeetmetega saavutatava säästu arvutusi.

Autor soovib tänada enda juhendajat Anna Volkovat, DeltaE Inseneribüroo projektijuhte Karl Kürsat, kes innustas teema valikuga ja Stiina Ulmret ning Mark Laasi, kellega konsulteeriti seoses andmete õigsuse ja analüüsiga.

Võtmesõnad: energiatõhusus, süsihappegaaside heide, küttekoormus, õppehooned, bakalaureusetöö.

## LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

KEK	kaalutud energiaerikasutus, olemasoleva hoone energiakulu kasutust iseloomustav määrgis, mida väljastatakse reaalsete tarbimisandmete põhjal
BMS	hoone keskne juhtimissüsteem (ingl k <i>Building Management System</i> ), süsteem, mida kasutatakse hoone kõikide tehnosüsteemide ühtseks juhtimiseks
CO <sub>2</sub>	süsinikdioksiid ehk süsihappegaas, põlemise kõrvalsaadus, käesolevas töös tootmistevusega tekkiv gaas
EHR	Ehitisregister, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi hallatav register kõikide rajatiste kohta Eestis
ENMAK	energiamajanduse arengukava, Eesti energiapoliitika arengukava
kg	kilogramm, massiühik
kg/MWh	kilogrammi megavatt-tunni kohta, süsiniku eriheiteteguri ühik, mis kirjeldab ühte kilogrammi CO <sub>2</sub> heitmeid ühe toodetud megavatt-tunni energia kohta
kWh/m <sup>2</sup> a	energiaerikasutus kilovatt-tundides hoone ruutmeetri kohta aastas, kaalutud energiaerikasutuse ühik
q <sub>CO2</sub>	süsiniku eriheitetegur, väärtus, millega iseloomustatakse energiakandja energiaühiku tootmisega kaasnevad CO <sub>2</sub> heitmeid
TWh/kWh	energia ühik teravatt-tund/kilovatt-tund, energia, mida tarbib või toodab ühtlasel võimsusel üks teravatt-tund/kilovatt-tund töötav seade ühe tunni jooksul
W	vatt, võimsuse ja soojusvoo mõõtühik

## SISSEJUHATUS

Eesti Vabariigi valitsus on koostanud energiamajanduse arengukava ning Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium strateegia energiatõhususe eesmärkide täitmiseks ja kaardistanud punkte, mis võivad saada takistuseks eesmärkide täitmisel. Energiatarbe vähendamiseks umbes 7 TWh aastas eelduseks on hoonete täielik renoveerimine. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi strateegias toodud peamine eesmärk on mitteeluhoonete energiatõhususe parandamine läbi erinevate meetmete ning seeläbi vähendada ka süsihappegaaside teket.

Eelnevast tulenevalt on käesoleva lõputöö eesmärk uurida õppehoonete küttekoormust, energiatõhusust ning olemasolevate õppehoonete kaalutud energiaerikasutuse klassi. Kuna Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi strateegia eesmärk on viia kõik olemasolevad mitteeluhooned, mis on madalama energiaklassiga kui D kaalutud energiaerikasutuse klassi C või kõrgemasse. Kaalutud energiaerikasutus ehk KEK on tegelikel tarbeandmetel põhinev energiakandjate kaalumisteguritega korrutatud aastane energiaerikasutus pinna ruutmeetri kohta ( $\text{kWh/m}^2\text{a}$ ). Ühtlasi moodustab hoonete energiatarve 40% kogu Euroopa Liidu energiatarbest [1]. Selgitamaks, kuidas täpselt õppehoone energiatõhusust on võimalik parandada teostatakse ühe analüüsitava õppehoone olemasoleva olukorra kaalutud energiaerikasutuse ja süsihappegaaside heite arvutus.

Lõputöö eesmärk on läbi olemasoleva õppehoone analüüsi ja parandusmeetmete pakkumise teoreetiliselt parandada hoone kaalutud energiaerikasutust vähemalt ühe klassi võrra ja seeläbi vähendada süsihappegaaside heidet. Autor valis teema ja eesmärgi vastavalt enda suurele huvile hoonete energiatõhususe ja küttekoormuse osas. Ühtlasi on süsihappegaaside suured heitekogused aktuaalne teema. Lisaks on erinevate avalike hoonete haldusjuhid saanud endale ülesandeks soojusenergia kulude vähendamise, mitte ainult kliimaeesmärkide täitmiseks vaid ka viimastel aastatel suurenenud soojusenergia hindade tõusu tõttu.

Käesoleva lõputöö esimene ülesanne on uurida olemasolevate hoonete, eeskätt õppehoonete, energiatõhusust. Teiseks ülesandeks on täpsemalt uurida ja analüüsida õppehoonete küttekoormust ja võimalusi selle vähendamiseks. Kolmanda ja peamise ülesandena on analüüsida ühte olemasolevat õppehoonet ja selle näitel parandusmeetmete pakkumisega parandada energiatõhususe klassi, läbi mille vähendada ka hoone süsnihappegaaside heidet.



Lõputöö koostamisel on suur tähelepanu teadusartiklil ja juba koostatud uurimustel. Info analüüsiks Eesti olemasolevate õppehoonete kohta on võetud Ehitisregistrist. Analüüsitakse ühte olemasolevat õppehoonet, kuid ei avalikustata selle hoone täpset asukohta ja nime. Analüüsitava õppehoone info on edastatud hoone haldusjuhi poolt. Analüüsis kasutatud info on kogutud ka DeltaE Inseneribüroo poolt. Vältimaks tundliku info ja ettevõtte ärisaladuse lekkimist avalikkusesse on kõik arvutustulemused läbi korrutatud ühe ja sama vabalt valitud ühest suurema väärtusega. Ühtlasi ei ole avalikustatud täpset parandusmeetmetest tulenevat kokkuhoiu arvutust.

Töö koosneb kolmest suuremast peatükist. Esimeses peatükis antakse ülevaade Euroopa Liidu ja Eesti Vabariigi tasemel koostatud eesmärkidest ja energiatõhususest mitteiluhoonetes. Tutvustatakse kaalutud energiaerikasutust ning energiakandjate kaalumistegureid. Peatükis tutvustatakse peamist küttesüsteemi Tallinna õppehoonete näitel. Lisaks antakse ülevaade õppehoonete energiatõhususest ja küttekoormusest ning võimalustest küttevajaduse vähendamiseks. Teises peatükis tutvustatakse töö meetodikat ja peamisi valemeid, mida kasutatakse. Lisaks on peatükis toodud peamised parandusmeetmed energiatõhususe parandamiseks. Kolmas peatükk sisaldab ühe olemasoleva õppe analüüsi, kus tuuakse välja probleemkohad olemasolevas olukorras. Arvutatakse olemasoleva olukorra ja peale parandusmeetmete teostust loodava olukorra energiatõhususe klass ja süsihappegaasi heide. Esitatakse kokkuvõte, mille tulemused on hinnangulised, reaalne kokkuhoid selgub peale reaalsete meetmete teostust. Töö juurde kuuluvad ka sissejuhatus, kokkuvõte ja kasutatud allikate loetelu.

# **1. ENERGIATÕHUSUS JA KAALUTUD ENERGIAERIKASUTUS**

## **1.1 Kasutuses olevate hoonete energiatõhusus**

Süsihappegaaside vähendamiseks on Euroopa Liit koostanud Energiatõhususe direktiivi, kus on toodud reeglid ja nõuded EU 2020 ja 2030 energiakavade saavutamiseks. Algne eesmärk oli vähendada Euroopa Liidu energiatarvet 32,5% võrreldes eeldusliku energiatarbega, mida ennustati aastaks 2030. 32,5% vähenemist oleks tähendanud eesmärki viia lõppenergia tarve 8 722 TWh-ni ja primaarenergia tarve 14 804 TWh-ni. [2]

Hoonete energiatarve moodustab kogu Euroopa Liidu energiatarbest 40% [1], millest tulenevalt pööratakse üha rohkem tähelepanu hoonete üldisele energiatõhususele ning seetõttu on hoonete renoveerimine ka üks peamisi eesmärke EL-i süsihappegaaside vähendamise strateegias. Kuna EL'i direktiivis jäetakse liikmesriikidele vaba otsustusõigus, kuidas eesmärki saavutada algatati Vabariigi Valitsuse poolt energiamajanduse arengukava (ENMAK) koostamine aastani 2035, mille eesmärgiks on ajakohastada juba kehtivas energiamajanduse arengukavas aastani 2030 olnud energiamajandamise suunad, eesmärgid ja ühtlasi kirjeldada arenguvisioni. Eelnevalt tulenevalt on Majandus- ja Kommunikatsiooniministerium omakorda koostanud strateegia muuta kõik enne sajandivahetust ehitatud hooned energiatõhusamaks aastaks 2050 ehk saavutada renoveerimisega nendel hoonetel minimaalne energiaklass C. 27% üldkasutatavatest hoonetest, mis on ehitatud enne 2000. aastat s.h on energiamärgistega A, B ja C ning kõik ülejäänud D või madalamas energiaklassis. Sellest tulenevalt ennustatakse, et ligi 20% kogu mitteeluhoonetest jääb kasutuseta. Strateegiakava peamiste murekohtadena nähti kvalifitseeritud tööjõu puudust, rahalise ressursi puudust, maksimaalse tulemuse saavutamist minimaalse ajakuluga ja renoveerimisele suunatud ettevõtete vähesust. [3]

Strateegia koostati aastal 2020 ja sel ajal hinnati Ehitisregistri andmetel keskkonnamõjuga mitteeluhooneid (kontori- ja erasektori hooned, õppehooned jmt) kasutuses olevat umbes 32 000, mille kogu netopindala 28 miljonit m<sup>2</sup> nagu on näha tabelis 1.1. Nende pindalast täpsemalt õppe- ja teadusasutused moodustavad umbkaudu 14%, mis on märkimisväärne osa kui on eesmärk hooneid energiatõhusamaks muuta, sest nende hoonete puhul on selge ja piiritletud kasutusaeg, millest tulenevalt on võimalik juhtida näiteks kütte- ja jahutuskoormust. [3]

Tabel 1.1 Ehitisregistri andmetel 2020 seisuga Eestis mitteeluhooned keskkonnamõjuga [3]

	Hoonete koguarv		Netopindala, m <sup>2</sup>	
<b>Kontorihooned</b>	4 010	13%	4 300 000	15%
<b>Majutusasutused</b>	2 340	7%	1 020 000	4%
<b>Kaubandushooned</b>	6 710	21%	4 170 000	15%
<b>Õppe- ja teadusasutused</b>	1 990	6%	3 890 000	14%
<b>Tervishoiuasutused</b>	550	2%	1 050 000	3%
<b>Laohooned</b>	7 590	24%	4 100 000	15%
<b>Tööstushooned</b>	7 920	25%	9 180 000	33%
<b>Eriotstarbega hooned</b>	740	2%	420 000	1%
<b>Kokku</b>	<b>31 850</b>	<b>100 %</b>	<b>28 130 000</b>	<b>100%</b>

Nagu eespool toodud 40% Euroopa Liidu energiatabest moodustab just hoonete energiatarve. Omakorda avaliku sektori energiatarbest 12% moodustab õppehoonete energiaerikasutus [4]. Õppe- ja teadusasutustest realselt kasutuses on 1 352 hoonet (netopindalaga 2 589 000 m<sup>2</sup>), millest omakorda heas seisukorras või vähemalt energiaklassis C on 158 hoonet ja renoveerimist vajab 1 194, mille netopinnaks kujuneb 2 212 000 m<sup>2</sup>. Kogu hoone renoveerimisega on võimalik energiakuludelt kokku hoida ligi 60%. Küll võib kasvada elektrienergia kasutus, seda näiteks ventilatsiooni juhtimisest tulenevalt, kuid see kasv ei ole oluliselt suur võrreldes eelnevalt kaasneva säästuga, primaarenergia kulud vastavalt hoone eripärale vähenevad umbkaudu 32%. [3]

Eestis olevatest hoonetest on koostatud Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi hallatav Ehitisregister ehk EHR. Registris on toodud iga hoone ja kinnisasja põhiinfo, millele on antud kindel registrikood. Registrisse on koondatud info ehitiste kinnisturaamatutest ja riigi kinnisvararegistrist, lisaks on toodud m<sup>2</sup> vastavalt ehitise kasutusotstarbele. Ehitisregistris on eraldi välja toodud alaosadena ehitise konstruktsioonide ja materjalide info, näiteks vundamendi ja välisseina liik. Lisaks on olemas täpsem info tehniliste näitajate osas, näiteks elektrisüsteemi, veevarustuse, kanalisatsiooni ja soojusvarustuse liik, viimane vastavalt kaug-, lokaal- või kohtküte. Juhul kui ehitisele on väljastatud ka energiamärgis, siis ka selle info saab Ehitisregistrist.

Antud töös on kasutatud Ehitisregistri andmeid analüüsi eesmärgil. Õppehoonete osas on Ehitisregistris kasutusotstarbe koodiks 12630, mis jaguneb omakorda järgnevalt:

- 12631 Koolieelne lasteasutus (lastesõim, -aed, päevakodu, lasteaed-alkool);
- 12632 Põhikooli või gümnaasiumi õppehoone (kehtetu alates 31.12.2012);
- 12632 Põhikooli või gümnaasiumi õppehoone;
- 12633 Kutseõppeasutuse õppehoone;
- 12634 Ülikooli, rakenduskõrgkooli õppehoone;

- 12635 Teadus- ja metoodikaasutuse hoone;
- 12636 Huvialakooli õppehoone (kehtetu alates 31.12.2012);
- 12637 Täiendus- või ümberõppeasutuse hoone (kehtetu alates 31.12.2012);
- 12639 Muu haridus- või teadushoone;
- 12639 Muu haridus- või teadushoone, nagu näiteks labor, õppetöökoda, ilmajaam ja observatoorium (kehtetu alates 31.12.2012).

Töös kasutatakse õppeasutuste andmeid, mille kasutusotstarbe koodideks on 12632 ja 12633.

## 1.2 Kaalutud energiaerikasutus

Kaalutud energiaerikasutus ehk KEK on tegelikel tarbeandmetel põhinev energiakandjate kaalumisteguritega korrutatud aastane energiaerikasutus pinna ruutmeetri kohta ( $\text{kWh/m}^2\text{a}$ ). Kaalutud energiaerikasutuse arvutust kasutatakse vaid olemasolevate hoonete puhul tõendamaks nende energiatõhususe klassi. Igale hoonele, millele KEK väärtus on arvutatud kehtib tõend 10 aastat. Arvutustes mitte arvesse võetavaid energiatarbijaid, mis on eraldi mõõdetud (näiteks serverid, välisvalgustus) saab KEK väärtuse arvutusest välja jätta. [5]

Märgist arvutatakse järgneva põhjal:

- ehitise kasutusotstarve;
- ehitus- ja rekonstrueerimisaasta;
- hoone köetav pindala, netopindala ja madalaima temperatuuriga pindala;
- soojusallika ja küttesüsteemi tüüp;
- ventilatsioonisüsteemi ja jahutussüsteemi tüüp;
- lokaalsete taastuvenergia süsteemide tüüp ja toodang;
- ühe täisaasta soojus- ja elektrienergia tarbimisandmed taandatult normaalaastale;
- elektriarved, soojusenergia arved ja/või kasutatud kütuste kogused. [5]

KEK energiamärgist ei väljastata juhul kui puuduvad vähemalt ühe täisaasta tarbimisandmed [5].

KEK arvutamisel kasutatakse kaalumistegureid, mis on sätestatud Vabariigi Valitsuse määrusega, mis on toodud ka tabelis 1.2. Kaalumistegurid võtavad arvesse energia tootmiseks vajaliku primaarenergia kasutust ja selle keskkonnamõju ning need on määratud Vabariigi Valitsuse poolt kehtestatud määrusega. [6]

Tabel 1.2 Energiakandjate kaalumistegurid [6]

Energiakandja	Kaalumistegur
Taastuvtoormel põhinevad kütused (puit ja puidupõhised kütused ning muud biokütused, välja arvatud turvas ja turbabrikett)	0,75
Kaugküte	0,90
Tõhus kaugküte	0,65
Vedelkütused (kütteõlid ja vedelgaas)	1,00
Maagaas	1,00
Tahked fossiilkütused (kivisüsi jms)	1,00
Turvas ja turbabrikett	1,00
Elekter	2,00

Tõhus kaugküte on süsteem, milles soojuse tootmiseks kasutatakse vähemalt 50% taastuvenergiat või heitsoojust või 75% koostoodetud soojust. Tõhusa kaugkütte märgist sooja tootjatele väljastab Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing. [7]

KEK märgis on väärtuses H kuni A, kus H näitab kõige madalamat väärtust. Oluliselt rekonstrueeritav hoone peab saavutama energiamärgise klassi C, mida peetakse ka energiatõhususe miinimumnõudeks. KEK märgiste energiatõhususe klassid on erinevad vastavalt hoone tüübile. Erinevaid tüüpe on kokku 14, näiteks eristatakse korter- ja väikeelamuid, tööstushooneid, suure energiatarbega hooneid, laohooneid, lasteadeasid ja avalikke hooneid. Samuti on õppehoonetele eraldi hoonetüüp, mille energiatarbe ja energiatõhususklassi seos on esitatud tabelis 1.3. [8]

Tabel 1.3 Haridushoonete KEK väärtuse ja energiatõhususe klassi seos [8]

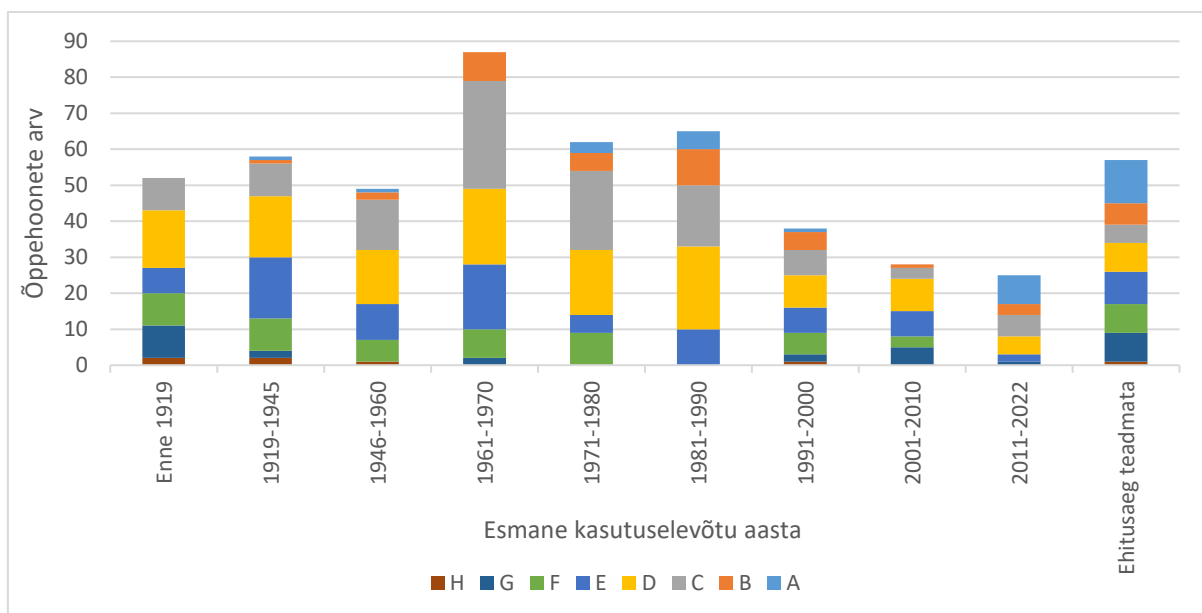
KEK, kWh/m <sup>2</sup> a	Energiatõhususe klass
≤80	A
≤120	B
≤150	C
≤190	D
≤240	E
≤310	F
≤400	G
≥401	H

Olemasolevate hoonete kaalutud energiaerikasutuse klassi on võimalik parandada näiteks välisfassaadi soojustamise ja õhupidavuse parandamisega, et vähendada soojakadusid või ka paigaldades päikesepaneelid, millega toota lokaalset taastuvat energiat. Viimane on väga levinud liginullenergiahoonete märgise saavutamisel.

## 1.3 Õppehoonete energiatõhususe klassid

Ehitisregistri andmetel on Eestis enim õppehooneid kaalutud energiaerikasutuse energiaklassiga D, kokku 267. Kokku on alates 2013. aastast kogutud andmete põhjal väljastatud õppehoonetele 841 kaalutud energiakastuse märgist, millest 172 on väljastatud aastal 2017. [9]

Ehitisregistris on toodud KEK märgised, mida on väljastatud alates 2013. aastast. Nagu on toodud joonisel 1.1, on EHR andmetel olemasolevatest põhikooli, gümnaasiumi ja kutseõppeasutustest enim hooneid KEK märgisega D, kokku 141 õppehoonet 521-st, mis moodustab umbes 27%. Kusjuures neist omakorda 87 hoonet ehk umbes 62% on ehitatud aastatel 1961-1970. Enne teise vabariigi algusaastat kümnele ehitatud õppeasutusele on väljastatud KEK märgis klassiga A, põhjuseks on ilmselt hoone põhjalikum renoveerimine. Aastatel 1991-2022 ehitatud hoonetele on väljastatud ka KEK märgised klassiga G, kokku 8 õppehoonet. [9]



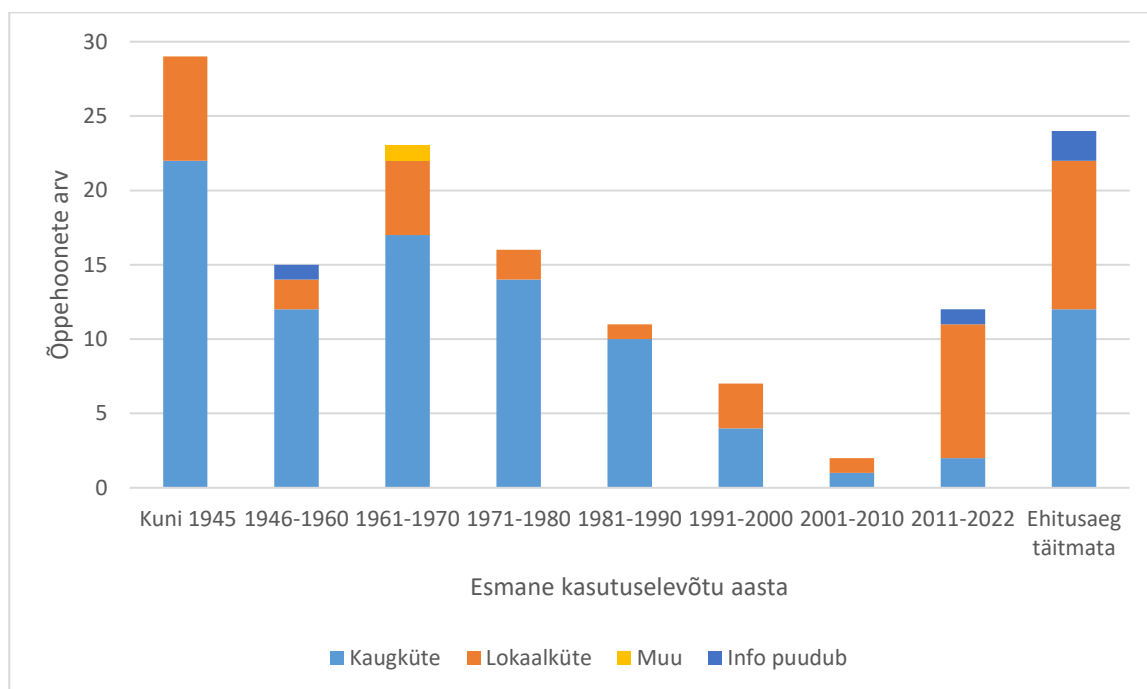
Joonis 1.1 Põhikooli, gümnaasiumi ja kutseõppeasutustele väljastatud KEK märgised vastavalt hoone ehitusaastale [9]

### 1.3.1 Soojuskoormus koolimajades

Aastatel 1961 – 1999 kui ehitusmaterjalide hind oli madalal ja vaba tööjõudu oli palju siis kasutati ära võimalust ehitada juurde suuremas mahus hooneid [10]. 92 õppehoonet 126-st on ehitatud aastatel 1900 - 1999 ja nende netopindala moodustab 85% kogu ehitatud õppehoonetest alates aastast 1700 [9].

Siinkohal tuleb ka silmas pidada, et on võimalik hoonete hilisem kasutusotstarbe muutus ehk esialgu ei pruukinud hooned olla ehitatud õppehooneks, kuid hiljem on nende kasutusotstarvet muudetud. Samal ajal kujunes välja tüüpne lahendus kaugküttega liitumiseks, mis langetas hilisemaid halduskulusid. Nagu nähtub jooniselt 1.2 on enamik Tallinna koolimajadest ühendatud kaugküttevõrguga, kuid samal ajal puudub täpne süsteem kuidas reguleerida temperatuuri klassiruumides endis. Teet-Andrus Koiv on läbi viinud uuringu, millega tõestas, et esimese 20 minutiga tõuseb klassiruumide temperatuur umbkaudu 1,3 korda juhul kui küttesüsteemi ja jahutust ei juhita [10].

Vastavalt joonisele 1.2 on EHR andmetel 139-st Tallinna põhikoolist, gümnaasiumitest ja kutseõppeasutustest 68% liidetud kaugkütte võrguga. Arvestades Tallinnas kohustuslikku kaugküttega liitumist on see protsent madal, põhjuseks võib olla varane ehitusaasta ning osa õppehoonetest ei ole veel ka renoveeritud. Lokaalset küttelahendust kasutab 24% õppehoonetest, tõenäoliselt on peamisteks lahendusteks gaasi- või pelletikatel. Aastatel 2001 kuni 2010 võeti kasutusele üksikud uued õppehooned, põhjuseks võib olla majanduskriis aastal 2008, mille tõttu ehitati ja valmis vähem hooneid. [9]



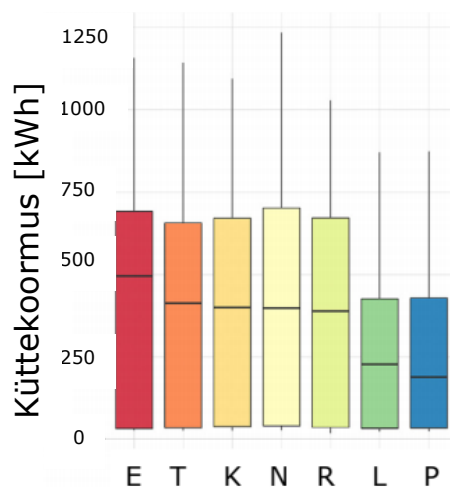
Joonis 1.2 Tallinna põhikoolide, gümnaasiumite, kutseõppeasutuste soojusvarustuse liik vastavalt hoone esmasele kasutusaastale [9]

Kaugküttevõrkudega kaetakse Euroopa Liidus ligikaudu 13% kogu soojusenergiavajadusest hoonetes [1]. Eestis täpsemalt saab oma soojuse kaugküttena 62% elanikkonnast [11]. Loodud on 239 kaugküttevõrku, mis moodustavad ühtekokku

1 430 km soojustorustikku [12]. Kaugküttevõrk ise aga ilma hoonesisese küttejuhtimiseta ei suuda reguleerida hoones olevat temperatuuri. Näiteks väheneb kevade ja soojemate ilmade saabudes õppehoonete soojuskoormuse vajadus, kuid see ei tähenda, et kaugküttesüsteemis oleks võimalik juhtida madalamat temperatuuri, sest kõikidele torustikele ja jaotusvõrkudele on kehtestatud oma temperatuuri piirnormid. Lisaks tuleb siinkohal tähele panna, et kuni 30-aastased üldjuhul soovivad töötada madalama temperatuuriga keskkonnas kui vanemad inimesed. Seda seost on illustreerinud ka Lumbreras et al enda teadusartiklis [1].

Juhul kui õppeasutus asub hajaasustusega piirkonnas, kus puudub kaugkütte võrgustik ja kasutatakse lokaalset soojatootmist, näiteks on olemas gaasikatel, millega hoonet köetakse on ka hoone CO<sub>2</sub> jalajälg energiakandja kohta suurem. Lisaks on rikkeid eeldatavasti lihtsam lahendada, sest süsteemid on väiksemad, kaugkütte süsteemi rikke puhul võib ühest rikkest olla mõjutatud mitu hoonet ühe korraga. Omaette küttesüsteemiga hoone puhul on lihtsam jälgida tarbitava toorme mahtu ja vajadusel reguleerida süsteemi antavat soojuskoormust.

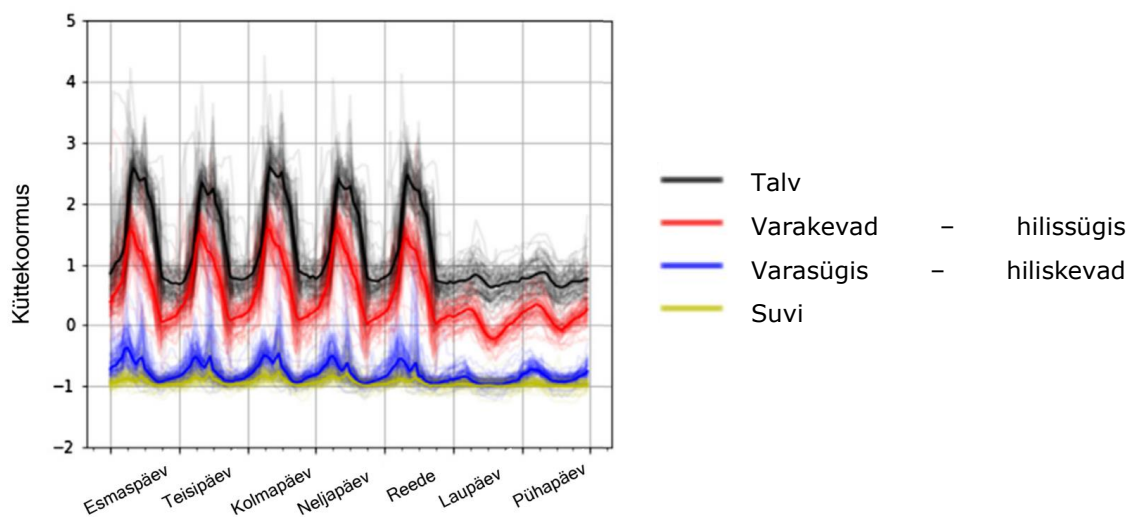
Tartu koolimaja näitel on keskmine koolimajade nõutud küttekoormus õppenädala kestel 700 kWh ning nädalavahetustel kuni 450 kWh, 2019. aasta mõõtmisandmete põhjal, mis on toodud joonisel 1.3 [1]. Selle põhjal võib eeldada, et küttesüsteem on hoones juhitud, sest tavapärane sisse-välja küttejuhtimine ei võimalda reguleerimist nädalapäevast tulenevalt. Koolimajade puhul esineb ka hooajast tulenevat küttekoormuse erinevat vajadust, näiteks ei ole mõistlik kütta suurt õppehoonet, kui on vaheaeg ja õppetegevust ei toimu, küll aga tuleks autori hinnangul samal ajal hoida sarnast küttekoormust tavapärase nädalavahetusega, sest vastasel juhul kulub suurem energia koolimaja soojaks kütmisele kuivõrd saavutatakse säästu selle madalamal temperatuuril hoidmisega.



Joonis 1.3 Tartu koolimaja mõõdetud küttekoormus ühe nädala jooksul [1]



Taolist süsteemsust tõestasid ka Rootsi teadlased, kelle uuritud koolimajadest 73% moodustasid nädalavahetusel väiksema energiakoormusega hooned. Nende uurimuses toodi ka välja igale aastaajale vastavad soojakoormuse kõikumised, mis on toodud joonisel 1.4. Joonisel on näha, et hoone küttekoormust reguleeritakse, millest tulenevalt on ka hoone CO<sub>2</sub> jalajälg väiksem. [13]



Joonis 1.4 Küttekoormus Rootsi õppehoonetes [13]

Tartu Linnavarade Osakond on teostanud 2013. aastal 22 kooli energiatarbe analüüsi, kus nähti, et keskmine soojusenergia koormus aastatel 2009 - 2011 oli 98 - 155 kWh/m<sup>2</sup>a, sellise tarbimisega oleks hoone energiaklass B või C, seega võime seda lugeda kui madalaks kütetarbimiseks. 20 kooli puhul eristus suuresti aasta 2010, mil soojusenergia kulu oli võrreldes eelneva ja järgneva aastaga märgatavalt suurem, paraku teostatud analüüsis ei selgitatud välja põhjuseid, võime eeldada, et sel aastal oli üldine välistemperatuur madalam, millest tulenevalt tuli hooneid ka rohkem kütta. [14]

Eelneva põhjal võime öelda, et nädalapäevapõhine kütetarbimine on hea viis, kuidas viia kogu hoone imporditud soojaenergia madalamale ning selle kaudu ka parandada energiaklassi. Lisaks on abiks ruumide kasutuspõhine küttejuhtimine, millega vähendatakse ruumide kütmist, mida mitme päeva jooksul ei kasutata.

### 1.3.2 Õppehoone küttekoormuse juhtimine vastavalt tunniplaanile

Õppehoonete energiatarbe vähendamiseks on kaks peamist varianti, millest üheks on juhtimispõhimõttelised ja teiseks tehniliste süsteemide täiustamine. Esimene variant käsitleb näiteks küttesüsteemide tarka juhtimist või hoone kasutajate käitumise suunamist läbi tunniplaani vastava korrigeerimise. Teine variant haldab endas

amortiseerunud küttesüsteemide, katelde, radiaatori ventiilide vmt välja vahetamist uute ja tõhusamate vastu. Tavapäraseks on saanud just teise variandi kasutamine, sest see on kiiremate tulemustega ja seda on füüsiliselt lihtsam lahendada. [4]

Fathi et al uurimuse põhjal on kõige efektiivsem õppehoone küttekoormust ja üldiseid energiakulusid vähendada täpselt planeeritud õpilaste tunniplaani järgi. Õppeasutuste tunniplaani koostamine põhineb teatud arvu kursuste paigutust kindlasse ajaraamistikku ning seda kindla ruumide arvu juures. Uurimuses loodud tunniplaani nägi ette ruumide optimaalseimat kasutatust. Seda tunniplaani kasutades õnnestus vähendada õppehoone energiakulusid 1,3%, hilisemalt mudeldades saavutati maksimaalne võimalik sääst 19%. Siinkohal tekib küsimus, kui palju on võimalik sellise tunniplaani koostamisega vähendada kulusid ülikoolides, kus erinevad teaduskonnad jagavad õppehooneid ning tunniplaani on suurema kattuvusega kui väiksemates alg- ja põhikoolides. [4]

## **1.4 Soojusenergia kulud ja piirhinnad**

Energiakriisiga, kus hinnad aina kasvavad on õppehoonete arendus- ja haldusjuhtidel keeruline kulusid arvestada. Vanade ja sooja mittepõlvade õppehoonete küttekulud on miljonites eurodes. Tallinna Ülikooli arendusprorektor Katrin Saks on öelnud, et 2022. aasta esimese kaheksa kuu küttekulud olid koolil 1,2 miljonit ja Tartu Ülikooli kantsler Kstina Vallimäe prognoosis samal ajal 2022. aasta elektri- ja küttekuludeks umbkaudu 6,9 miljonit, millega viimase rahaline puudujääk eelarvesse planeerituga oleks 3 miljonit. Ülikoolid on kasutanud kulude vähendamiseks ruumide temperatuuri alandamist, küll aga on ka sellel piirid, et ei mindaks vastuollu inimesele mugava töötemperatuuriga. Ühtlasi on haldusjuhid ka nentunud vanade hoonete vähest soojapidavust, mille parandamiseks tuleb esialgu teha suured investeeringud. [15]

Hoone täieliku rekonstrueerimisega võib saavutada umbes 60 - 70% säästu soojusenergialt [16]. Elektrienergia kasutus võib seevastu suurened, näiteks kui haridusasutuses ei olnud varasemalt mehaanilist ventilatsioonisüsteemi ja see renoveerimise käigus paigaldatakse sisekliima tagamiseks. Hoonete rekonstrueerimise pikaajalises strateegias on ennustatud haridusasutuste energiatarbimise vähenemiseks kokku 23% kui tarbimise alusandmeteks võtta soojuse osas 140 ja elektri osas 30 kWh/m<sup>2</sup>a nagu on toodud tabelis 1.4. [10]

Tabel 1.4 Hoonete energiaerikasutuse erinevus enne ja peale rekonstrueerimist [10]

Tõhus kaugküte	Enne rekonstrueerimist, kWh/m <sup>2</sup> a			Peale rekonstrueerimist, kWh/ m <sup>2</sup> a			Vähene mine, %		
	Soojus	Elekter	KEK	Soojus	Elekter	KEK	Soojus	Elekter	KEK
<b>Üksikelamu</b>	190	25	174	0	65	130	100%	-160%	25%
<b>Korterelamu</b>	170	35	181	70	38	122	59%	-9%	33%
<b>Büroo</b>	130	70	225	70	45	136	46%	36%	40%
<b>Kaubandus</b>	80	140	332	5	85	206	31%	39%	38%
<b>Haridus</b>	140	30	151	55	40	116	61%	-33%	23%

Tallinna Tehnikaülikoolil on välja ehitatud küttesüsteem, millega saab kohapealse gaasikatlamaja pealt ühendada kaugküttele. Kaugkütte lahendust kasutades on lootus, et kulud on pikemas perspektiivis odavamad. Kulukam on kaugküttega liituda, kuid meeles tuleb pidada, et ostetakse energiat mitte seadet, näiteks õhksoojuspumpa. Kaugkütte hinnad kooskõlastatakse Konkurentsiametiga. Kaugkütte valdkonna reguleerimiseks on kehtestatud kaugkütteseadus. Konkurentsiametiga kaugküttehinna kooskõlastamisel kontrollitakse, kas soojuse tootmiseks ja edastamiseks teostatud kulutused on põhjendatud ning selle alusel kehtestatakse vastavas kaugkütte piirkonnas piirhind. 2022 kui küttehinnad olid kõige kõrgemad ulatus ka lõpptarbija hind umbes 100 €/MWh-ni, millele lisandus käibemaks. Kaugkütte hinnad on otseses seoses kütuste hindadega, mida kasutatakse tootmisjaamas, lisaks mõjutavad hinda ka kaugküttevõrgu investeeringut ja üldise olukorra parandamiseks teostatavad lahendused. Kaugkütte hinnad Tallinna piirkonnas on toodud tabelis 1.5. [17]

Tabel 1.5 Keskmise kaugkütte maksumus €/MWh Tallinna kaugkütte piirkonnas [17]

Aasta	2020	2021	2022	2023
<b>Keskmine kaugkütte maksumus €/MWh (km-ta)</b>	63,41	76,17	97,58	97,04
<b>Keskmine kaugkütte maksumus €/MWh (km-ga)</b>	76,09	91,40	117,10	116,45

## 2. ANDMETE ANALÜÜS

Käesolevas töös analüüsib autor Tallinnas asuva õppehoone küttekoormust ja KEK väärtust. Töös tuuakse välja hoones olemasolevate süsteemide seisukord. Seejärel pakub autor välja meetmed kaalutud energiaerikasutuse parandamiseks. Töös analüüsitakse nii olemasolevat lahendust kui ka parandusmeetme kasutuselevõtu järgset olukorda.

Analüüsitava hoone andmed saadi Ehitisregistrist. Ehitisregistrist võeti andmed hoonealuse pindala kohta, lisaks küttesüsteemi ja üldise kirjelduse osas. Õppehoone haldusjuhilt saadi olemasoleva olukorra tarbimisinfo ja -arved. Lisaks kasutati DeltaE Inseneribüroo poolt kogutud lähteinfot, sealhulgas õppehoones kohapeal tehtud pilte.

Kuna analüüsis on kasutatud tundlikku infot ja parandusmeetmete säästu arvutamisel on kasutatud DeltaE Inseneribüroo poolt loodud intellektuaalomandit ei ole avalikustatud täpset säästu arvutamise metoodikat ja valemeid. Õppehoone tundlikku info kaitsmiseks on kõik lähteandmed ja arvutuslikud tulemused läbi korrutatud ühe ja sama vabalt valitud ühest suurema väärtusega. Sel viisil on omastatud igale arvulisele väärtusele uus tulem, mida ei ole võimalik seostada analüüsitava õppehoone andmetega.

Olemasolevate tehnosüsteemide tarbimisinfot saadi õppehoones olemasolevast hoone kesksest juhtimissüsteemist ehk *building management system*-ist (BMS). Antud süsteemis on kokku koondatud erinevate tehnosüsteemide, näiteks ventilatsioonisüsteemi, juhtimine ja vastavad töögraafikud. Lisaks saab sealt infot seadeväärtuste osas, näiteks põrandakütte temperatuuride seadeväärtused. BMS on üks peamisi viise, kuidas audiitorid saavad infot auditeeritava hoone osas, tihtipeale tulevad peamised probleemkohad välja just antud süsteemist.

### 2.1 Kaalutud energiaerikasutuse väärtuse arvutamine

KEK arvutusel aluseks võetavate energiakandjate kaalumisteguritega võetakse arvesse tarnitud energia tootmiseks vajalik primaarenergia kasutus ja selle keskkonnamõju [6].

Kaalutud energiaerikasutust arvutatakse vastavalt normaalaasta kraapäevade ja soojusenergia kuluga. Hoonete soojatarve sõltub suuresti välisõhu temperatuurist, mis ei ole iga aasta sama, siis küttekoormuse normaliseerimiseks ja võrdlemiseks erinevate aastatega taandatakse vaadeldava aasta küttekoormus normaalaasta kraapäevadele.

Normaalaasta tarbimisele viimiseks kasutatakse valemit (2.1)

$$Q_n = (Q_{teg}) * \frac{S_n}{S_{teg}}, \quad (2.1)$$

- kus  $Q_n$  – normaalaasta soojustarbimine, MWh,  
 $Q_{teg}$  – tegeliku aasta soojustarbimine, MWh,  
 $S_n$  – normaalaasta kraadpäevade arv,  
 $S_{teg}$  – tegeliku aasta kraadpäevade arv.

KEK väärtuse peamiseks sisendiks on soojaenergia tarneviis, kas läbi kaugkütte, lokaalse lahenduse või muul moel, sellele vastavalt valitakse energiakandja kaalumistegur. Väärtuse täpseks tulemuseks peab olema teada täpne hoone köetava pind.

KEK arvutamiseks kasutatakse valemeid (2.2) ja (2.3).

$$KEK = \frac{Q_{tarn}}{S * t}, \quad (2.2)$$

- kus  $Q_{tarn}$  – kasutatud energia, W,  
 $S$  – köetav netopindala, m<sup>2</sup>,  
 $t$  – aeg, aasta.

$$Q_{tarn} = \sum_i^n i * K_i, \quad (2.3)$$

- kus  $Q_{tarn}$  – tarnitud energia, kWh,  
 $n$  – energiakandjate arv,  
 $i$  – energiakandja  $i$ ,  
 $K_i$  – energiakandja  $i$  kaalumistegur, toodud tabelis 1.2.

## 2.2 CO<sub>2</sub> heitmete arvutamine

Hoonete energia vajaduse vähendamisega kaasneb otsene mõju CO<sub>2</sub> heitmetele. Väiksema küttevajadusega hoone süsiniku jalajälg on samuti väiksem. Jalajälje suuruse erinevus sõltub otseselt kasutatavast energiaallikast.

CO<sub>2</sub> heitmete arvutamiseks kasutatakse CO<sub>2</sub> eriheitetegureid, mis on toodud tabelis 2.1. Antud tegurid kirjeldavad, millised on kaugküttesoojuse energiaühiku (MWh) tootmisega kaasnevad CO<sub>2</sub> heitmed (kg). CO<sub>2</sub> eriheitetegur valitakse vastavas tootmisjaamas kasutatava kütuse järgi.

Tabel 2.1 Kütuse süsiniku eriheide [18], [19]

Energiakandja	Süsiniku eriheitetegur, $q_{CO_2}$ (kg/MWh)
Elektrienergia	687
Kaugküte	114
Maagaas	201,81
Vedelgaas	228,2

CO<sub>2</sub> heitmete arvutamiseks kasutatakse valemit 2.4

$$C_{CO_2} = \sum_i^n i * q_{CO_2} , \quad (2.4)$$

kus  $C_{CO_2}$  – hoone CO<sub>2</sub> jalajälg, kg CO<sub>2</sub>,

$i$  – energiakandja  $i$  tarbitud kogus, MWh,

$q_{CO_2}$  – süsiniku eriheitetegur vastavalt energiakandjale  $i$ , kg/MWh,

$n$  – energiakandjate arv.

## 2.3 Olemasoleva olukorra parandusmeetmed

Analüüsitava õppehoonele pakutakse välja ka parandusmeetmed, millega oleks võimalik vähendada hoone energiatarvet. Parandusmeetmete pakkumisel on arvestatud võimalikult lihtsate ja kiirelt teostatavate meetmetega, et koheselt saavutada maksimaalne sääst. Meetmete pakkumise järgselt arvutatakse välja eelduslik uus lõpptarbimine ning selle järgselt ka KEK väärtus. Eesmärk on parandusmeetmetega muuta hoone energiatõhususklass paremaks vähemalt ühe klaasi võrra.

Samuti arvutatakse välja hoone CO<sub>2</sub> jalajälg enne ja peale parandusmeetmeid. Eesmärk on parandusmeetmetega saavutada maksimaalne süsinikujalajälje vähenemine.

Ruumikütteseadmete säästupotentsiaali arvutusel on arvestatud ruumikütteseadmete reaalsel tööaega ja termostaatventiilide nominaalvõimsust. Jahutusseadmete tarbimise ja säästu arvutuse aluseks on võetud iga erineva seadme Tootjapoolset arvestuslikku elektrilist võimsust ja seadme tööaega. Ventilatsiooniseadmete soojatarbimise

arvutamisel on arvestatud eraldi seadmete tööajaga pool- ja täiskiirusel, seadmete sisse- ja väljapuhke õhuvooluhulkasid ning seadearvu, mis temperatuuri peab saavutama sisselastav õhk ehk temperatuuri, milleni toimub järelküte. Ventilatsiooniseadmete elektrilise tarbimise tulemus on saadud arvestades seadmete elektrilist tarbimist vastavalt tootelehele ja selle tööaega nii pool- kui ka täiskiirusel.

Tulenevalt DeltaE Inseneribüroo intellektuaalomandi kasutamisest ei ole avalikustatud täpset parandusmeetmete ja nendega saavutatava säästu arvutusmetoodikat.

## 3. OLEMASOLEVA ÕPPEHOONE ANALÜÜS

### 3.1 Analüüsitav koolimaja

Kuna töös ja analüüsis on kasutatud tundlikku infot ei ole välja toodud analüüsitava õppehoonele viitavaid nimesid, aadresse jmt. Andmed õppehoone osas on kogutud koos DeltaE Inseneribürooga, kasutades Ehitisregistri andmeid ja hoones olemasolevat juhtimissüsteemi.

Analüüsitav õppehoone asub Tallinnas ja kuulub Ehitisregistris kategooriasse 12633 kutseõppeasutuse õppehoone. Hoone võeti kasutusele aastal 1950, suletud netopind ja ühtlasi köetav pind on 11 141 m<sup>2</sup> vastavalt EHR andmetele, mis on toodud tabelis 3.1. Koolimaja koosneb kahest korpusest, mis ühtekokku on C-tähe kujuline ja viiekorruseline. Fassaad on valmistatud raudbetoonist ja tellistest, mida on viimistletud krohviga. Katusematerjaliks on raudbetoon, mis on kaetud plekiga. Hoone on ühendatud kaugküttevõrguga. [9] Õppehoones on olemas üks sojussõlm, kuid puudub ühtne ruumipõhine küttesüsteemi juhtimine. Kahes korpuses kokku on 17 ventilatsiooniseadet ja lisaks 7 väljatõmbe ventilaatorit. Hoone tarbimisandmed on arvutuslikud, sest puudub ühtne mõõtmisüsteem, mis kinnitaks tarbimisandmeid iga süsteemi kohta eraldi.

Tabel 3.1 Õppehoone andmed vastavalt EHR andmebaasile [9]

Ehitise nimetus	Kasutuselevõtu aasta	Suletud netopind (m <sup>2</sup> )	Köetav pind (m <sup>2</sup> )
Õppehoone (kaks korpust)	1950	11 141	

### 3.2 Tarbimise kirjeldus ja tarbimisinfo

Kogutud lähteandmed õppehoone tehnosüsteemide kohta on toodud tabelis 3.2.

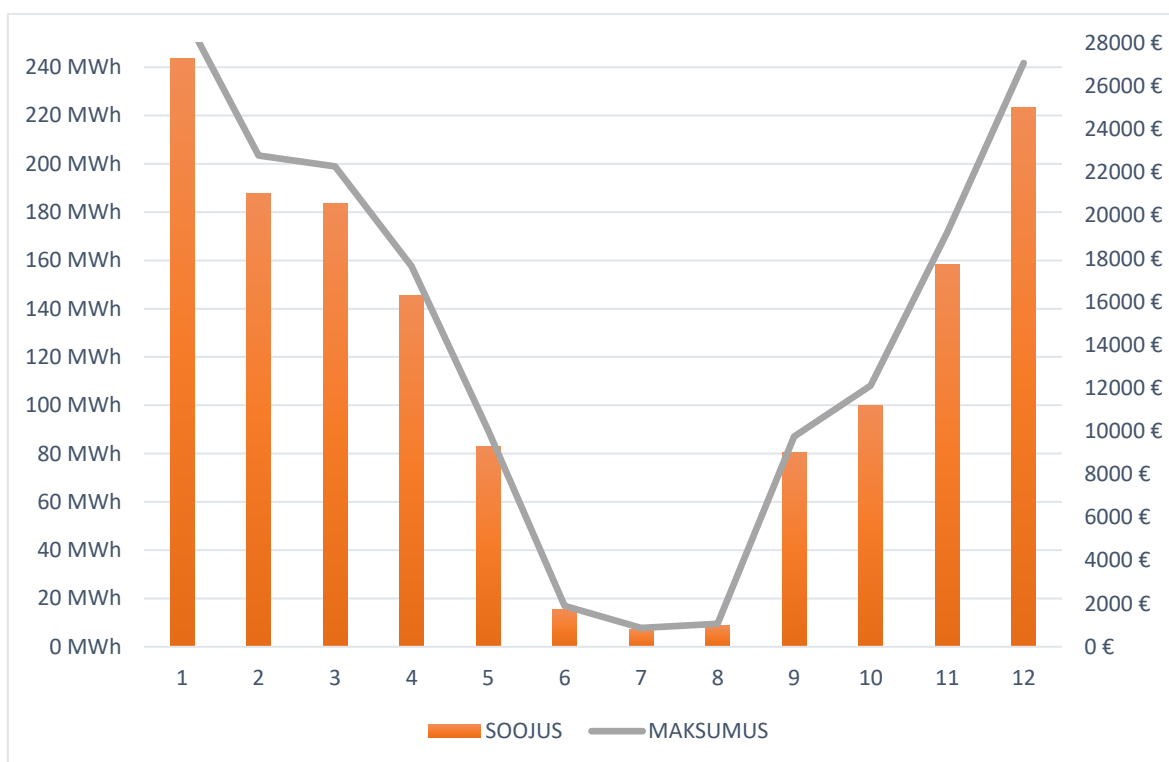
Tabel 3.2 Analüüsitava õppehoone tehnosüsteemide lähteandmed

<b>Soojusenergia tarnija</b>	AS Utilitas Tallinn
<b>Kütteliik</b>	Kaugküte
<b>Küttesüsteemi põhimõtteline lahendus</b>	Vesiradiaatorid, vesipõrandaküte
<b>Küttesüsteemi üldine soojusarvesti</b>	Soojussõlmes
<b>Jahutus</b>	Õhk-õhk soojuspumbad
<b>Sooja tarbevee valmistamine ja mõõtmine</b>	Soojussõlmes
<b>Ventilatsioon</b>	Soojustagastusega sundventilatsioon, väljatõmbeventilaatorid
<b>Elektrienergia MWh hind</b>	175 €/MWh (ilma km-ta)*
<b>Soojusenergia MWh hind</b>	121,25 €/MWh (ilma km-ta)*



\*Elektri- ja soojusenergia hinnad on välja arvatud detsember 2022 kuni veebruar 2023 arvete põhjal, mille on edastanud õppehoone haldusjuht, mis on läbi korrutatud vabalt valitud ühest suurema väärtusega.

Soojusenergiat tarbivad nii ruumikütteseadmed, milleks on vesiradiaatorid, vesipõrandaküte kui ka tarbevee soojendamise. Soojusenergia tarbimine ja vastav kulu on toodud joonisel 3.1 aasta 2022 kohta, joonisel on toodud kütteks kuluva soojaenergia ja tarbevee soojendamiseks kuluv energiatarve. Suvekuudel põhjustas soojakulu ilmselt põrandaküte ja ebaotstarbekas ruumide kütmine. Taolist ebavajalikku kütmist saab vältida automaatikaga juhtimisega.



Joonis 3.1 Õppehoone soojusenergia tarbimine ja rahaline kulu 2022. aastal

Hoonekompleksis on kokku 524 vesiradiaatorit, lisaks on neli vesipõrandakütte kontuuri, mis asuvad riietusruumides. Nende soojatarbimine kokku on 854 MWh aastas. Jahutusvajaduse katmiseks on kaks õhk-õhk soojuspumpa, ringluspumpade ja katelde elektritarbimine kokku on 19 MWh aastas. Ventilatsiooniseadmed (17 tk) ja väljatõmbeventilaatorid (7 tk) tarbivad ühtekokku 551 MWh aastas soojaenergiat. Ventilatsiooniseadmete elektriline tarbimine kokku on 263 MWh aastas. Tarbevee soojendamiseks (erinevad segistid, dušid jmt) kulub aastas 33 MWh. Andmed on toodud tabelis 3.3.

Tabel 3.3 Õppekompleksi kütte- ja ventilatsiooniseadmete soojus- ning elektrienergia tarbimine koos kuludega

<b>Seadmed</b>	<b>Soojus</b>	<b>Elekter</b>
<b>Kütte – ja jahutusseadmed</b>	854 MWh	19 MWh
	103 548 €	3 325 €
	60%	7%
<b>Ventilatsiooniseadmed ja ventilaatorid</b>	551 MWh	263 MWh
	66 809 €	46 025 €
	38%	93%
<b>Tarbevee soojendamine</b>	33 MWh	-
	4 001 €	-
	2%	-
<b>Kokku</b>	1 438 MWh	282 MWh
	174 358 €	49 350 €

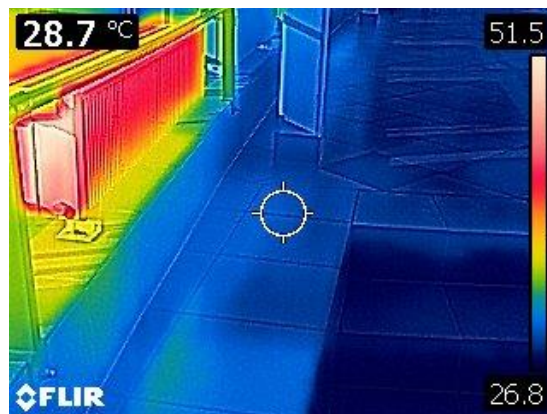
Õppekompleks tarbib elektrienergiat kokku 505 MWh aastas, millest 282 MWh ehk 55,8% moodustavad kütte- ja ventilatsiooniseadmete elektritarbimine, ülejäänud kulub valgustusele ja muudele süsteemidele.

Kütte- ja jahutusseadmete ning ventilatsiooniseadmete tarbimine teisendatuna normaalaastale on kokku 1 561 MWh, millele lisandub tarbevee soojendamiseks kuluv energia 33 MWh. Andmete analüüsis ja kaalutud energiaerikasutuse väärtuse arvutamiseks kasutatakse normaalaastale taandatud tarbimisandmeid.

Soojussõlme juhtimine on automatiseeritud ning selle juhtimiseks on paigaldatud kontroller Schneider. Põrandakütte juhtimine puudub ning sellest tulenevalt on ka põrandad ülekõetud kuni temperatuurini 33 °C nagu on näha joonisel 3.2, lisaks kõetakse üle ruume, kus on palju aknapinda, nõnda jõuab ruumi temperatuur 29 °C vastavalt joonisele 3.3. Vesiradiaatoritel on olemas termostaatpead, millega oleks võimalik temperatuuri reguleerida, kuid enamus neist on lõhutud või amortiseerunud, millest tulenevalt on radiaatorid pidevalt küttes. See suurendab soojakoormust, juhul kui samas ruumis on ka jahutusseade, siis rakendub ka see ning kulu on topelt nii kütmise kui ka jahutuse eest.

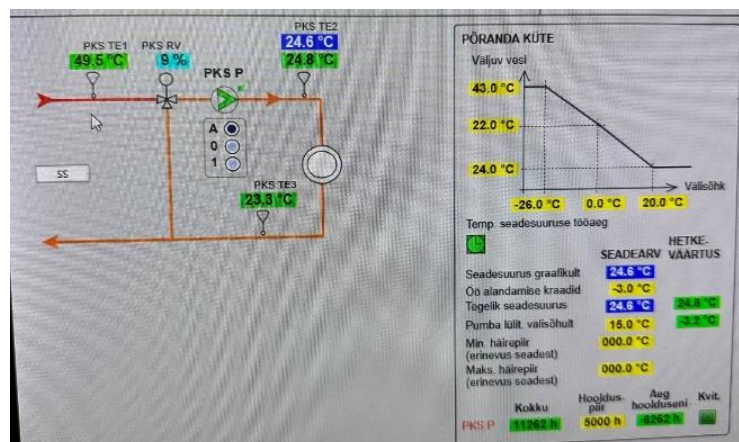


Joonis 3.2 Põrandaküttega ruumi põranda temperatuur



Joonis 3.3 Üle köetud ruumi temperatuur radiaatori juures ja üldiselt ruumis

Joonisel 3.4 on näha hoonel olemasolevat visualiseeritud halduse süsteemi, kus on põrandakütte seadeväärtused määratud. Probleemiks on vale seadistus, välisõhu 0 °C juures on põrandakütte seadeväärtuseks määratud 22 °C, kuid 20 °C välisõhuga on põrandaküte seadistatud 24 °C juurde. Taoline vale seadistus põhjustab ebamõistlikku küttekulu kui seda poleks tarvis.



Joonis 3.4 Põrandakütte seadistatud väärtused vastavalt välisõhu temperatuurile

Ventilatsioonisüsteemi peamiseks probleemkohaks on selle tööaeg, seadmed töötavad ööpäev läbi. Lisaks ei ole seadmed töökorras, näiteks on soojustagastuse rootor rikkis või ei ole filtrirõhu lüliti korras, suureks probleemiks on ka vale seadistus, mis on seadmele määratud.

### **3.3 Pakutavad parandusmeetmed**

Hoone energiatarbimise vähendamiseks on erinevaid meetmeid. Antud õppehoone puhul on eeskätt tarvis vähendada ruumide ülekütmist. Selleks on mõistlik vahetada kõikidel vesiradiaatoritel termostaatpead. Kõige kiirema energiasäästu saamiseks on hädavajalik olemasolevas juhtimisüsteemis seadeväärtuste parandamine, et ei köetaks ruume ja põrandakütet ilma põhjuseta ning juhtimine oleks välisõhu järgi vastavalt välisõhu madalama temperatuuriga kõrgem kütte temperatuur ja vastupidi. Kuna hetkel ei ole kõik termostaatpead terved ja toimivad, siis ei ole tagatud korrektset ruumipõhist kütte juhtimist, kuid vahetusega on see võimalik.

Ventilatsiooniseadmete puhul on elektrienergia vähendamiseks tarvilik seadmete remont, et toimiks soojustagastus ja sooja ei viida hoonest välja. Lisaks on mõistlik paigaldada ruumidesse CO<sub>2</sub> andurid, mille järgi ventilatsiooniseadmeid juhitaks, sel viisil ei tööta seadmed ilma vajaduseta ruumides, mida ei kasutata.

Veekulu ja selle läbi ka vee soojendamiseks kuluva soojaenergia vähendamiseks on kiire ja lihtne viis veesäästuotsikute paigaldamine segistitele. Veesäästu otsikud segavad vett õhuga, mille läbi ei vähene vee surve, küll aga vee kulu. Segistite poolt tarbitav veekogus võib väheneda kuni 70% ja duššide veekulu kuni 50%.

Elektrienergia vähendamiseks on võimalik katusele paigaldada päikesepaneelid. Lahenduse miinuseks on esmane pikk projekteerimise protsess, koos katuse tugevusarvutustega ja seejärel ehitus. Eelnevalt pakutud lahendused on kiired ja kohe teostatavad, mistõttu on päikesepaneelid vähem soovitatud, kuid pikas perspektiivis kindlasti mõistlik.

### **3.4 Kaalutud energiaerikasutus enne ja peale parandusmeetmeid**

Kaalutud energiaerikasutuse arvutamiseks arvestati soojaenergiatarve ümber normaalaasta kraadpäevadele ja tulemuseks saadi 1 561 MWh ilma tarbevee soojendamisetä. Kraadpäevadele taandamisega on võimalik kõrvaldada erinevused aastate vahel, sest hoone energiatarve sõltub suuresti valitsevast välistemperatuurist. Erinevuste elimineerimiseks viiakse reaalse vaadeldava aasta soojustarbimine üle võrreldavale normaalaasta tarbimisele. Üks kraadpäev väljendab 1°C erinevust arvestusliku sisetemperatuuri ja ööpäeva keskmise välisõhu temperatuuri vahel [20].

Punktis 3.3 on pakutud erinevad energiasäästmislahendused, nendele vastav eelduslik sääst on toodud allpool.

- Termostaatpeade vahetamisega on võimalik koheselt säästa umbes 57 MWh, kui arvestada tööajaks 20 h päevas ja 8 kuud kokku, võrreldes varasema 24 h-ga päevas. 57 MWh on sääst, mis on võimalik saavutada täpsema tööajaga.
- Ventilatsiooniseadmete seadeväärtuste ja tööaegade muutmisega, soojustagastuse parandamisega ja vajadusel remontimisega nt mootoririhma lisamisega parandades seadme kasutegurit on võimalik saavutada soojusenergia säästu umbes 346 MWh aastas ja lisaks elektrienergia säästu 114 MWh.
- Veekulu vähendamiseks paigaldatavate veesäästuotsikutega on võimalik veekulu vähendada ja selle läbi kuluvat energiat tarbevee soojendamiseks umbes 3,5 MWh.

Vastavalt tabelile 1.2 kasutatakse kaugkütte puhul energiakandja kaalumistegurit 0,65 tulenevalt Utilitasele väljastatud tõhusa kaugkütte märgisest ning elektritarbe puhul energiakandja kaalumistegurit 2.

Tabelis 3.4 on toodud õppehoone KEK väärtus olemasoleva ja parandusmeetmete järgse olukorra kohta. Arvutustel on olemasoleva olukorra tarbimiseks arvestatud tabelites 3.2 ja 3.3 toodud andmeid ning vastavalt normaalaasta kraadpäevadele taandatud tarbimist.

Uue, peale parandusmeetmete lahenduse arvutuseks on arvesse võetud kõikide pakutud lahenduste realiseerimist, välja arvatud päikesepargi rajamist, sest antud meede on pikaajalise perspektiiviga ja ei ole vähese ajaga teostatav.

Tabel 3.4 KEK enne ja peale energiatõhususe parandusmeetmete realiseerimist

KEK	Olemasolev olukord	Peale parandusmeetmeid	Muutus
<b>Normaalaastale taandatud kaugkütte kulu kütteks, MWh/a</b>	1 015	645	-370
<b>Tarbevee soojusenergia kulu, MWh/a</b>	21	19	-2
<b>Elektri peatarbimine, MWh/a</b>	1 010	782	-228
<b>Kaalutud energiaerikasutus, MWh</b>	2 046	1 446	-600
<b>Köetav pindala, m<sup>2</sup></b>	11 141		-
<b>Kaalutud energiaerikasutus, kWh/m<sup>2</sup></b>	184	130	-54
<b>Energiatõhususklass</b>	D	C	Ühe klassi võrra energiatõhusam

Pakutud meetmetega on võimalik vähendada õppehoone soojus- ja elektrienergia kasutust eelduslikult kuni 600 MWh. Meetmetega on võimalik vähendada kaalutud energiaerikasutust 54 kWh/m<sup>2</sup> ja seeläbi parandada õppehoone energiatõhususklassi ühe astme võrra ehk viia klassist D klassi C.

### 3.5 CO<sub>2</sub> heitmed enne ja peale parandusmeetmeid

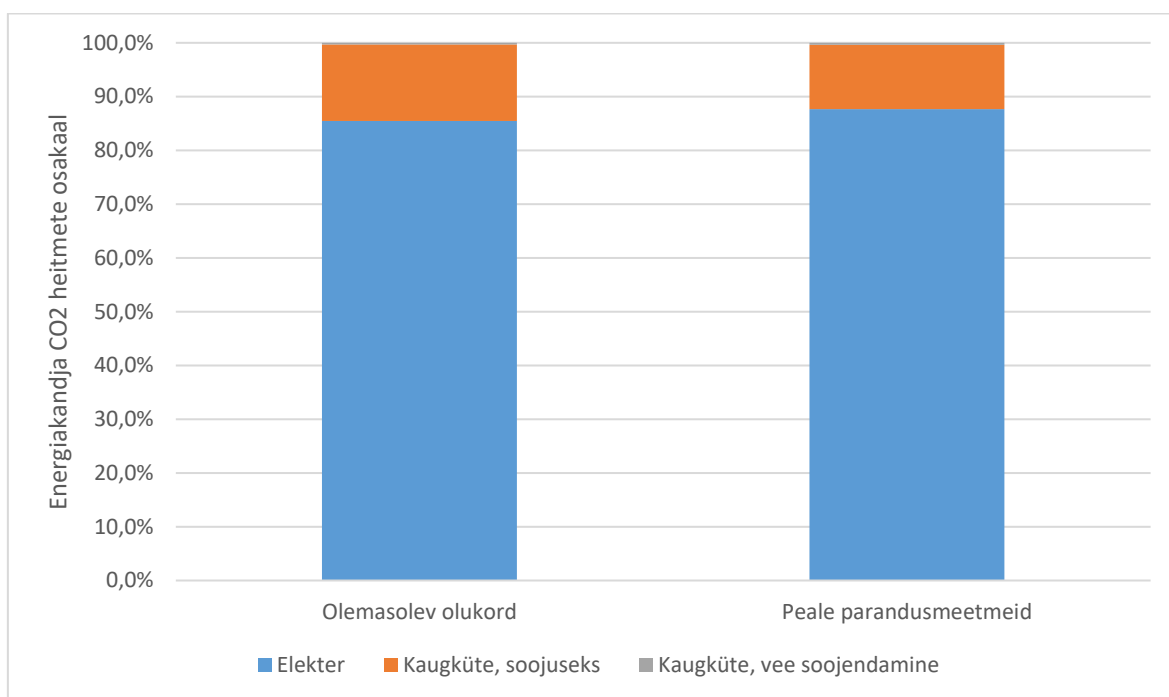
Olemasoleva õppehoone süsihappegaasi heitme analüüsis võeti tarbimisandmetena aluseks normaalaasta kraadpäevadele taandatud tarbimist. Arvutustes on eeldatud, et kõik punktis 3.3 pakutud meetmed peale päikesepargi rajamise on teostatud. Päikesepargi rajamine on välja jäetud, sest antud meede on pikaajaline ja pole võimalik kohe kiirelt teostada. Tulemused on toodud tabelis 3.5.

Süsihappegaasi heitme arvutamisel on kasutatud CO<sub>2</sub> eriheitetegureid, mis on toodud punktis 2.2 olevas tabelis 2.1.

Tabel 3.5 CO<sub>2</sub> heitmete vähenemine peale energiatõhususe parandusmeetmeid

Energiakandja	Olemasoleva olukorra aastane CO <sub>2</sub> heide (kg)	Aastane CO <sub>2</sub> heide peale parandusmeetmeid (kg)	CO <sub>2</sub> sääst aastas (kg)	CO <sub>2</sub> säästu %
Elekter, ventilatsiooniseadmete juhtimiseks	693 870	537 234	-156 636	78,7%
Kaugküte, kütteks	115 710	73 530	-42 180	21,2%
Kaugküte, tarbevee soojendamiseks	2 394	2 166	-228	0,1%
<b>Kokku</b>	<b>811 974</b>	<b>612 930</b>	<b>-199 044</b>	<b>100%</b>

Kogu energiatarbimise vähenemisega 600 MWh võrra väheneb õppehoone CO<sub>2</sub> heide 199 044 kg aastas. Suurim sääst tuleneb ventilatsioonisüsteemi täpsemast juhtimisest ning seadmete rikkis osade parandamisest, mis vähendab elektrienergia kulu 228 MWh. Ruumide vajaduspõhise küttejuhtimisega on võimalik vähendada CO<sub>2</sub> heidet enam kui 42 000 kg, mis moodustab kogu CO<sub>2</sub> vähenemisest umbes 21%. Kuna tarbevee soojendamise kulu on küllaltki väike siis sellest tulenev heite vähenemine ei ole märkimisväärne. CO<sub>2</sub> heitmete osakaal energiakandjate kohta on toodud joonisel 3.5.



Joonis 3.5 Analüüsitava õppehoone olemasoleva olukorra ja parandusmeetmete järgse olukorra CO<sub>2</sub> heitmete osakaal energialiigi kohta

### 3.6 Analüüsitava õppehoone tulemused

Tabelis 3.6 on toodud analüüsitava õppehoone olemasoleva olukorra võrdlus parandusemeetmete järgse olukorra ning saavutatud säästuga. Nagu näha on võimalik vähendada elektri- ja soojaenergia kulu piisavalt, et parandada energiatõhususe klassi ühe taseme võrra ehk vähendada tarbimist 600 MWh võrra. CO<sub>2</sub> heitmeid on võimalik vähendada ligi 200 tonni.

Tabel 3.6 Analüüsitava õppehoone olemasoleva olukorra ja parandusmeetmete järgse olukorra kokkuvõte

	Olemasolev olukord		Peale parandusmeetmeid		Sääst	
	Koormus	CO2 heide	Koormus	CO2 heide	Koormus	CO2 heide
<b>Kaugküte, soojuseks</b>	1 015 MWh	115 710 kg	645 MWh	73 530 kg	-370 MWh	-42 180 kg
<b>Elekter</b>	1 010 MWh	693 870 kg	782 MWh	537 234 kg	-228 MWh	-156 636 kg
<b>Kaugküte, tarbevee soojendamiseks</b>	21 MWh	2 394 kg	19 MWh	2 166 kg	-2 MWh	-288 kg
<b>Kokku</b>	2 046 MWh	811 974 kg	1 446 MWh	612 930 kg	-600 MWh	-199 044 kg
<b>Kaalutud energiaerikasutus, KEK</b>	184 kWh/m <sup>2</sup>	-	130 kWh/m <sup>2</sup>	-	-54 kWh/m <sup>2</sup>	-
<b>Energiatõhusus-klass</b>	D		C		-	



## KOKKUVÕTE

Tulenevalt Euroopa Liidu poolt seatud eesmärkidest vähendada süsihappegaaside teket ning Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi poolt loodud strateegiast on suurenenud surve hoonete energiatõhususele. Eestis on 2020 aasta seisuga natuke üle 28 miljoni ruutmeetri keskkonnamõjuga mitteeluhooneid. Nendest 14% moodustavad õppe- ja teadusasutused, millest renoveerimist vajab umbes 2,2 miljonit ruutmeetrit, et saavutada kõikide õppehoonete energiatõhususe klassiks C, mis seati Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi poolt eesmärgiks.

Kaalutud energiaerikasutuse ehk KEK-i märgiste hoone energiatõhususklassi info on kättesaadav Ehitisregistrist. KEK märgise arvutamisel on suur tähelepanu erinevate energiakandjate kaalumisteguritel. Eestis on õppehoonetele enim väljastataud KEK märgist klassiga D, kokku 267 märgist 841-st. Kümnele õppehoonele on väljastatud märgis klassiga A, mis võivad olla eelnevalt läbinud täieliku renoveerimise.

68% 139-st Tallinna põhikoolidest, gümnaasiumitest ja kutseõppeasutustest on liidetud kaugküttevõrguga. Tulenevalt põhjalikust välja arendatud kaugküttevõrgust on see protsent madal. Lokaalset küttelehendust kasutab 24% õppehoonetest, ülejäänud 8% osas puudub Ehitisregistris info või kasutab muud küttelehendust.

Tartu ühe õppehoone näitel on selle küttekoormus tööpäevadel umbes 700 kWh ning kasutades süsteemset juhtimist siis nädalavahetustel umbes 450 kWh. Seda toetavad ka Rootsi teadlased, kelle poolt uuritud 73% õppehoonetest oli nädalavahetustel madalam küttekoormus. See on viis õppehoone küttekulutuste vähendamiseks ja selle läbi ka süsihappegaaside heitmete vähendamiseks. Lisavõimalus õppeasutuse küttekoormuse vähendamiseks on tunniplaanijärgne juhtimine. Sel viisil võib küttekulusid vähendada umbkaudu 19%. Küttekulude vähendamine on aktuaalne teema hetkel, mil igatalvised kulud ruumide soojendamisele tõusevad ettenägematute numbriteni.

Töö koostati teadusartiklite ja Ehitisregistri andmete põhjal. Olemasoleva õppehoone analüüs teostati õppehoone haldusjuhi poolt edastatud info ja DeltaE Inseneribüroo poolt kogutud info põhjal. KEK märgise ja süsihappegaaside heitmete arvutuseks pakutud parandusmeetmetega saavutatud säästu arvutuskäike ei ole töös näidatud, et kaitsta tundlikku infot ja ärisaladust avalikkusesse lekkimise eest. Turvalisuse mõttes on kõik arvutuslikud tulemused läbi korrutatud vabalt valitud ühest suurema väärtusega.

Õppehoone energiatõhususe parandamiseks pakutud meetmed on ruumikütteseadmete tööaja juhtimine koos parandatud seadeväärtustega. Ventilatsiooni ja jahutusseadmete peamiseks parandusmeetmeks on täpsem juhtimine tulenevalt tööajast ja sisse- ning väljapuhke seadeväärtuste korrigeerimisest.

Analüüsitud õppehoone asub Tallinnas, on liidetud kaugküttega ja ehitatud aastal 1950. Kokku tarbib hoone soojaenergiat 1 438 MWh aastas ja elektrienergiat tehnosüsteemide osas 282 MWh, millele lisandub muu elektritarve valgustuse jmt näol. Hoone peamiseks probleemideks on ülekütmine, valesti seadistatud seadeväärtused nii kütte, ventilatsiooni kui ka jahutuse osas. Ventilatsiooniseadmed on rikkis, millest tulenevalt nende kasutegur on madal.

Õppehoone olemasoleva olukorra kaalutud energiaerikasutus on 184 kWh/m<sup>2</sup>a ning energiatõhususe klass D. Kõikide parandusmeetmete teostamisega on võimalik kaalutud energiaerikasutust vähendada 54 kWh/m<sup>2</sup>a ja seeläbi parandada õppehoone energiatõhususe klassi ühe astme võrra ehk saavutada klass C.

Analüüsitava hoone olemasolev olukord toodab CO<sub>2</sub> heitmeid aastas 811 974 kg. Parandusmeetmete teostuse järgselt on võimalik heitmeid vähendada ligi 200 000 kg. Suurim heitmete vähenemine ligi 79% on saavutatav elektri kokkuhoiust ventilatsiooniseadmete täpsemast juhtimisest tulenevalt.

Autori hinnangul said lõputöö eesmärgid täidetud. Analüüsiti olemasolevate õppehoonete energiatõhususe klasse. Lisaks selgitati erinevate teadusartiklite põhjal välja tüüpne küttekoormus ja erinevad võimalused koormuse vähendamiseks. Analüüsitavale olemasolevale õppehoonele pakutud parandusmeetmetega saavutati teoreetiliselt parem energiatõhususe klass ja vähendati süsihappegaaside heidet. Edasiseks uurimiseks tuleks teostada uus analüüs kui õppehoones on reaalsed parandusmeetmed ellu viidud, et tulemusi võrrelda arvutuslikega ja vajadusel selgitada välja erisused. Lisaks on ettepanek tulevikkuvaatavalt teostada suuremamahulised mõõtmised õppehoonete küttekoormuse osas ja proovida erinevaid variante selle vähendamiseks, näiteks töös pakutud tunniplaanijärgset juhtimist rakendada.

## SUMMARY

Due to the goals set by the European Union to reduce the production of carbon dioxide gases and the strategy created by the Ministry of Economic Affairs and Communications, the pressure on the energy efficiency of buildings has increased. As of 2020, there were little over 28 million square meters of non-residential buildings with an environmental impact in Estonia. 14% of these are educational and research institutions, of which 2.2 million square meters need to be renovated in order to achieve the energy efficiency of educational buildings to class C, which was set as a goal by the Ministry of Economic Affairs and Communications.

Weighted energy consumption label, KEK label information is available in Ehitisregister. When calculating the KEK label, a lot of attention is paid to weighing factors of different energy carriers. In Estonia, the highest number of KEK labels issued to educational buildings is class D, a total of 267 out of 841 marks. Ten educational buildings have been issued with a label of class A, which may have previously undergone complete renovation.

68% of 139 primary schools, high schools and vocational training institutions in Tallinn are connected to the district heating network. Due to the comprehensively developed district heating network, this percentage is low. 24% of educational buildings use a local heating solution, the remaining 8% have no information in Ehitisregister or use another heating solution.

For example, one educational building in Tartu has a heating load of around 700 kWh on weekdays and around 450 kWh on weekends using system control. This is also supported by Swedish researchers, who found that 73% of educational buildings have a lower heating load on weekends. This is a way to reduce the heating costs of the educational building and, through it, also to reduce carbon dioxide emissions. An additional possibility to reduce the heating load of the educational institution is regulating heat load according to the timetable. In this way, heating costs can be reduced by approximately 19%. Reducing heating costs is a main topic at the moment, when the annual costs for heating rooms, rise to unforeseen numbers.

The paper was written based on scientific articles and data from Ehitisregister. The analysis of the existing educational building was carried out based on the information provided by the administrative manager of the educational building and the information collected by the DeltaE Engineering Office. Calculations of the savings achieved and the proposed corrective measures for the calculation of carbon dioxide emissions are not

shown in the paper in order to protect sensitive information and business secrets from being leaked to the public. For security reasons, all calculated results are multiplied by a freely chosen value greater than one.

The measures proposed to improve the energy efficiency of the educational building are the control of the operating time of the heaters with corrected set values. The main corrective measure for ventilation and cooling equipment is more precise controlling due to the operating time and correction of the inlet and outlet setpoints.

The building under analysis is located in Tallinn, is connected to district heating and was built in 1950. In total, the building consumes 1 438 MWh of heat energy per year and 282 MWh of electricity for the technical systems, plus other electricity consumption for lighting, etc. The main problems of the building was overheating, incorrectly set values for heating, ventilation and cooling. The ventilation equipment is in a state of disrepair, resulting in low efficiency.

The weighted energy use of the existing situation of the building is 184 kWh/m<sup>2</sup>a and the energy efficiency class is D. By implementing all the corrective measures, it is possible to reduce the weighted energy consumption by 54 kWh/ m<sup>2</sup>a and thus improve the energy efficiency of the building by one class achieving class C.

The existing situation of the building under analysis produces 811 974 kg of CO<sub>2</sub> emissions per year. Following the implementation of measures, emissions could be reduced by around 200 000 kg. The largest reduction of about 79% is achieved through electricity savings due to a more precise control of the ventilation system.

In the author's opinion, the objectives of the thesis were met. The energy efficiency classes of existing buildings were analysed. In addition, typical heating loads and different options for reducing the loads were identified on the basis of various research articles. The proposed improvement measures for the existing building under analysis achieved a theoretically better energy performance class and reduced carbon emissions. For further investigation, a new analysis should be carried out once the actual measures have been implemented in the building, in order to compare the results with the calculated ones and, if necessary, to identify the differences. In addition, it is proposed to carry out more extensive measurements of the heating loads in the educational buildings in the future and to try different options to reduce them, for example by implementing the after-hours management proposed in the work.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] M. Lumbreras *et al.*, „Data driven model for heat load prediction in buildings connected to District Heating by using smart heat meters“, *Energy*, kd 239, jaan 2022, doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.122318. Kasutatud 26.03.2023.
- [2] „Energy efficiency directive“. [Online]. Loetud aadressil: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en). Kasutatud 21.04.2023.
- [3] „Long-term strategy for building renovation Tallinn“, 2020. [Online]. Loetud aadressil: [https://www.kul.ee/sites/kulminn/files/lisa\\_3\\_kvaliteetne\\_ruum\\_aluspohimotted.pdf](https://www.kul.ee/sites/kulminn/files/lisa_3_kvaliteetne_ruum_aluspohimotted.pdf). Kasutatud 21.04.2023.
- [4] A. Fathi, M. Salehi, M. Mohammadi, Y. Rahimof, ja P. Hajialigol, „Cooling/heating load management in educational buildings through course scheduling“, *Journal of Building Engineering*, kd 41, sept 2021, [Online] doi: 10.1016/J.JOBE.2021.102405. Kasutatud 21.04.2023.
- [5] *Mis on kaalutud energiaerikasutus (kek) ja mis rolli see mängib?* [www] Loetud aadressil: <https://o3.ee/kek/>. Kasutatud 06.04.2023.
- [6] *Eesti Vabariigi määrus „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“*. Vastu võetud 01.01.2019. RT I, 13.12.2018, 17. Kasutatud 07.04.2023
- [7] *Tõhus kaugküte ja -jahutus – EJKÜ*. [www] Loetud aadressil: <https://epha.ee/tohus-energia/>. Kasutatud 12.05.2023.
- [8] „Kaalutud energiaerikasutuse ja energiatõhususarvu klassi määramine“. [Online] Loetud aadressil: <https://kredex.ee/sites/default/files/2022-08/Hoonete%20arvutuslike%20energiamaa%CC%88rgiste%20vastavus%20tegelikule%20tarbimisele%20uuring.pdf>. Kasutatud 12.05.2023.
- [9] *Ehitisregister*. [www] Loetud aadressil: <https://livekluster.ehr.ee/ui/ehr/v1> Kasutatud 01.05.2023.

- [10] „Indoor climate and energy efficiency of apartment and educational buildings in Estonia | Request PDF“. [Online]. Loetud aadressil: [https://www.researchgate.net/publication/262211607\\_Indoor\\_climate\\_and\\_energy\\_efficiency\\_of\\_apartment\\_and\\_educational\\_buildings\\_in\\_Estonia](https://www.researchgate.net/publication/262211607_Indoor_climate_and_energy_efficiency_of_apartment_and_educational_buildings_in_Estonia). Kasutatud 05.04.2023.
- [11] A. Volkova, H. Koduvere, ja H. Pieper, „Large-scale heat pumps for district heating systems in the Baltics: Potential and impact“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, kd 167, okt 2022, doi:10.1016/J.RSER.2022.112749.
- [12] „Kaugküte | Energiatalgud“. [www] Loetud aadressil: <https://www.energiatalgud.ee/Kaugk%C3%BCte> Kasutatud 16.04.2023
- [13] E. Calikus, S. Nowaczyk, A. Sant'Anna, H. Gadd, ja S. Werner, „A data-driven approach for discovering heat load patterns in district heating“, *Appl Energy*, kd 252, lk 113409, okt 2019, doi: 10.1016/J.APENERGY.2019.113409.
- [14] T. : Tartu, L. Osakond, D. Martin, K. Koostas, T. Pikk, ja K. Virkus, „TARTU LINNA HOONETE ENERGIATARBIMISE JA SISEKLIIMA UURINGU TEISE ETAPI ARUANNE“, 2013.
- [15] „Ülikoolidele antud 10 miljonit lisaeurot võib suuresti korstnasse lennata | Haridus | ERR“. [Online]. Loetud aadressil: <https://novaator.err.ee/1608763225/ulikoolidele-antud-10-miljonit-lisaeurot-voib-suuresti-korstnasse-lennata>. Kasutatud 01.05.2023.
- [16] „TTÜ professor: kui me maju ei renoveeri, vajame peagi juurde Auvere elektriijaama jagu tootmisvõimsust - Maaleht“. [Online]. Loetud aadressil: <https://maaleht.delfi.ee/artikkel/96097621/ttu-professor-kui-me-maju-ei-renoveeri-vajame-peagi-juurde-auvere-elektriijaama-jagu-tootmisvoimsust>. Kasutatud 21.05.2023.
- [17] „Hindade kooskõlastamine | Konkurentsiamet“. [www]. <https://www.konkurentsiamet.ee/et/vesi-soojus/soojus/hindade-kooskolastamine>. Kasutatud 01.05.2023.

- [18] „EESTI KAUGKÜTTESEKTORI CO 2 HEITMED Tellija: Eesti Jõujaamade ja Kaugkütte Ühing“, 2021. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021403121X>. Kasutatud 29.04.2023.
- [19] A. Volkova, I. Krupenski, N. Kovtunova, A. Hlebnikov, V. Mašatin, ja A. Ledvanov, „Converting Tallinn’s historic centre’s (Old Town) heating system to a district heating system“, *Energy*, kd 275, juuli 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.127429.
- [20] „Energiatõhusus - Tööriistad energiatõhususe mõõtmiseks | KredEx“. [Online] Loetud aadressil: <https://kredex.ee/et/energiatohusus-uuringud-ja-andmed/kraadpaevad>. Kasutatud 28.05.2023.