



www.emu.ee

**Eesti Maaülikool**  
Estonian University of Life Sciences

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

**TAL  
TECH**

**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO**  
INSENERITEADUSKOND  
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

KAUBANDUSKESKUSE ENERGI AVARUSTUSE  
ALTERNATI IVIDE ANALÜÜS

ANALYSIS OF ENERGY SUPPLY ALTERNATIVES FOR  
RETAIL BUILDING

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Andre Kaareste  
Üliõpilaskood: 143963AAHM  
Juhendaja: prof. Juhan Valtin

Tallinn 2020

# AUTORI DEKLARATSIOON

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.

20.05.2020.a

Autor: Andre Kaareste, digiallkirjastatud

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele.

20.05.2020.a

Juhendaja: prof. Juhan Valtin, digiallkirjastatud

Kaitsmisele lubatud

".....".....2020.

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## Sisukord

Lõputöö lühikokkuvõte	5
Abstract	6
Lõputöö ülesanne	7
Eessõna	11
Sissejuhatus	12
1. Energiamajanduse trendid, eesmärgid ja mõõdikud	14
2. Hoone energiatarbe analüüs	16
2.1. Hoone valik	16
2.2. Arvutuslik energiatarve	17
2.3. Tegelik energiatarve	21
2.4. Arvutusliku ja tegeliku energiatarbe võrdlus	22
3. Energiaturu analüüs	24
3.1. Kaugküte maapiirkondades	24
3.2. Maagaasi turg	25
3.3. Elektriturg	27
3.4. Elektri võrguteenus	29
3.5. Saldeeritud tunniandmed	30
3.6. Tõhusa koostootmise toetus	31
3.7. Taastuenergia toetus	32
4. Hoone energiavarustuse lahendamine	32
4.1. Seadmete valik ja tooteinfo	32
4.1.1. Gaasikatel	32
4.1.2. Maasoojuspump	33
4.1.3. Soojuse- ja elektri koostootmisseade	34
4.1.4. Päikeseelektrijaam	35
4.2. Energiatootmise modelleerimine	36
4.2.1. Soojusenergia tootmine	36
4.2.1.1. Kaugküte	36
4.2.1.2. Gaasikatel	36
4.2.1.3. Maasoojuspump	36
4.2.1.4. Soojuse- ja elektri koostootmismootor	37

4.2.2. Elektrienergia tootmine	39
4.2.2.1. Soojuse- ja elektri koostootmismootor	39
4.2.2.2. Päikeseelektrijaam	40
5. Tasuvusanalüüs	43
5.1 Omatoodangu maksumus	43
5.2 Energiavarustuse kogumaksumus hoones	44
6. Energiavarustuse alternatiivide energiatõhususe võrdlev analüüs	47
6.1. Hoone energiatõhusus erinevate energiasüsteemide korral	47
6.2. Hoone energiaklass erinevate energiasüsteemide korral	50
Kokkuvõte	52

Kasutatud kirjandus ja infoallikad

Lisad

Lisa 1

Lisa 2

Lisa 3

Lisa 4

## LÖPUTÖÖ LÜHI KOKKUVÕTE

Autor: Andre Kaareste	Lõputöö liik: Magistritöö
Töö pealkiri: Kaubandushoone energiavarustuse alternatiivide analüüs	
Kuupäev: 20.05.2020.a	55 lk
Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool	
Teaduskond: Inseneri teaduskond	
Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
Töö juhendaja: prof. Juhan Valtin	

Sisu kirjeldus: Äärelinnades ja maapiirkondade keskasulatesse rajatakse uusehitistena järjest sagedamini väikesemahulisi kaubandushooneid (kasulik pind 800-1500 m<sup>2</sup>). Sellised hooned vajavad muuhulgas soojus- ja elektrienergiaga varustamist. Energiavarustuse tagamiseks tuleb langetada valikuid, millist energiasüsteemi valida, arvestades erinevaid kohapealseid tehnilisi võimalusi. Riigi eesmärk on energiavarustuses suurendada taastuenergia põhinevate lahenduste osakaalu selliselt, et need ei vajaks riiklike subsidiume. Hoone omanike eesmärk on leida kulutõhus, aga samas töökindel lahendus. Juuresoleva töö eesmärgiks oli analüüsida kaubandushoone energiavarustuse alternatiivseid variante, et omanik saaks valida just tema hoonetele sobiva kulutõhusa ja samas energiatõhususe nõutele vastava lahenduse. Töö käigus selgitatakse esmalt välja hoone arvutuslik ja tegelik koguenergia vajadus. Seejärel analüüsitakse elektri ja maagaasi turuhindade pika- ja lühiajalisi muutusi ja kirjeldatakse toetusmeetmeid uute tootmisviiside kasutusele võtmiseks. Energia kogutarbimine hoonetes jaotatakse tunnipõhiseks ja valitakse sobivad väiketootmisadmed. Eelneva alusel koostati arvutiprogrammis MS Excel 4 soojuse tootmismudelit ja 2 elektri tootmismudelit. Tootmismudelites määratud töörežiimide alusel määrati sisendenergia ja väljundenergia kogused. Leitakse energiaühiku omahind hoonetes lähtudes energiaturu 10.aasta keskmistest hindadest. Seejärel moodustatakse hoone energiavarustuseks 8 erinevat energiasüsteemi kombinatsiooni, mis koosnevad omatoodangust ja võrguenergiast. Variante võrreldi omavahel majandusliku tasuvuse, energiatõhususe ja varustuskindluse seisukohast ning koostati ülevaatlik tabel kaubandushoonele optimaalse energiasüsteemi kavandamiseks. Töös on 55 lehekülge, 26 joonist 21 tabelit. Kasutatud on 18 kirjalikku infoallikat.

Märksõnad: hoone elektri- ja soojusenergia vajadus, elektriturg, maagaasiturg, väiketootmisadmed, lokaalne tootmine, energiaühiku omahind hoonetes, majanduslik tasuvus, energiatõhusus, varustuskindlus.

## ABSTRACT

Author: Andre Kaareste	Type of the work: Master Thesis
Title: Kaubandushoone energiavarustuse alternatiivide analüüs	
Date: : 20.05.2020.a	55 lk
University: Tallinn University of Technology	
School: School of Engineering	
Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
Supervisor of the thesis: prof. Juhan Valtin	

Abstract: Small-scale commercial buildings (usable area 800-1500 m<sup>2</sup>) are increasingly being built in the suburbs and in the rural areas. Such buildings need heat and electricity supply. Different local technical possibilities should be considered in order to ensure sustainable energy supply. The state aims to increase the share of renewable energy solutions in the energy supply to eliminate the need for subsidies. The goal of the property owners is to find a cost-effective and time reliable solution. The aim of this thesis was to analyze alternative options for the energy supply of a commercial building; thereafter, the owner could choose the most suitable and cost-effective solution for the building that at the same time meets the energy efficiency requirements. First the total energy demand of the building is calculated then the actual total energy demand is determined. Long-term and short-term changes in electricity and natural gas market prices are analyzed and support measures for the use of new energy production methods are described. The total energy consumption of the building is distributed on an hourly basis and suitable small-scale equipment is selected. Based on the above, 4 heat production models and 2 electricity production models were compiled in the computer program MS Excel. The quantities of input and output energy were determined based on the operating modes defined in the production models. Based on the average prices of the energy market in the past ten years the production cost of an energy unit in a building is calculated. Then, 8 alternatives were formed for the energy supply of the building. Furthermore, the options were compared in terms of cost-effectiveness, energy efficiency and security of supply. In conclusion an overview table was drawn up to design the optimal energy system for the commercial building. There are in total 55 pages, 26 figures, 21 tables and 18 sources have been used.

Keywords: building electricity and heat demand, electricity market, natural gas market, small-scale production equipment, local production, unit production cost of energy in the building, economic profitability, energy efficiency, security of supply.

# Elektroenergeetika ja Mehhatroonika instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema: "Kaubandushoone energiavarustuse alternatiivide analüüs"

Lõputöö teema inglise keeles: "Analysis of energy supply alternatives for a retail building"

Üliõpilane: Andre Kaareste (ekstern), kood 143963AAHM

Eriala: Hajaenergeetika

Lõputöö liik: magistritöö

Lõputöö juhendaja: Juhan Valtin

Lõputöö ülesande kehtivusaeg: 01.juuni 2020.a

Lõputöö esitamise tähtaeg: 20.mai 2020.a

Andre Kaareste  
Üliõpilane (digiallkiri)

Juhan Valtin  
Juhendaja (digiallkiri)

---

Õppekava juht (allkiri)

### 1. Teema põhjendus

Riigi huvi on toetustevaba kliimaneutraalne energiatootmine. Omaniku huvi on mugav ja kulutõhus energia tarbimine. Energiavarustuse süsteemides püütakse lahendada „Trilemma“, kus otsitakse tasakaalu varustuskindluse, energia maksumuse, keskkonnahoiu vahel. Sarnast lähenemist saab kasutada lisaks suurenergeetikale ja väikestes süsteemides, näiteks uued kaubandushoonete (kasulik pind 1000-2000m<sup>2</sup>) energiavarustuses linnalähedastes piirkondades ja maa-asulates. Teema pakkus huvi, kuna seoses valglinnastumisega toimub selliste tüüphoonete rajamine igapäevaselt ja optimaalse lahenduse leidmine energiavarustusele selles olukorras omab praktilist väärtust. Töö saab liigitada energiamajanduse valdkonda.

## 2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on analüüsida erinevatel tehnoloogiatel põhinevaid hoone energiavarustuse süsteeme, leida parim võimalik lahendus 1197 m<sup>2</sup> kasuliku pinnaga kaubandushoone tarbeks.

## 3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu

Uurimisülesanne 1: Hoone soojus- ja elektrienergia tarbimise tunnipõhine analüüs.

Uurimisülesanne 2: Tarbimise katmine tunnipõhise tootmisega, sobivate tehnoloogiate valik.

Uurimisülesanne 3: Soojusenergia omahind, elektrienergia omahind. Tasuvusanalüüs alternatiivsete tootmistehnoloogiate puhul.

Uurimisülesanne 4: Hoone energiatõhususarvude määramine alternatiivsete energiavarustus seadmete puhul.

## 4. Lähteandmed

Hoone tehnilised andmed saadakse riiklikust ehitusregistrist (ehr.ee). Energiatarbe andmed saadakse Ihaste COOP hoone haldurilt. Kasutatakse 2017 aasta elektritarbimise andmeid tunni täpsusega ja maagaasi tarbimise andmeid kuu täpsusega. PV-elektrijaama tootmisandmed saadakse FI Selver hoone haldurilt.

## 5. Uurimismeetodid

Uurimisel kasutatakse alternatiivide võrdlust. Metoodika põhineb vaatlustel ja arvutustel, vähesel määral ka modelleerimisel. Analüüsiks kasutatakse MS Excel arvutiprogrammi ja valemeid ning seadmete tootelehtedel esitatud tehnilisi andmeid.

## 6. Graafiline osa

Olulisemad tabelid: hoone soojuskadude arvutus; energiaseadmete valik, paigaldusmaksumused ja investeringukulu aastas; lihttasuvusaeg, hoone energiatõhususarvud erineva energiaseadme valiku korral. Esitatakse töö põhiosas.

Olulisemad joonised: soojustarbimine aasta- ja päevagraafikud; elektritarbimise aasta- ja päevagraafikud; elektri- ja soojusenergia tootmisgraafikud. Esitatakse töö põhiosas.

Skeemid: seadmete toote joonised ja tehnilised andmed. Esitatakse lisan.

## 7. Töö struktuur

### 1. Sissejuhatus

### 2. Energiamaajanduse trendid, eesmärgid ja „Trilemma“ olemus

2. Hoone energiatarbe analüüs. Tüüppoone valik, arvutuslik energiatarve, tegelik energiatarve, arvutusliku ja tegeliku energiatarbe võrdlus



3. Energiaturu analüüs. Kaugküte maapiirkondades, maagaasiturg, elektriturg, elektri võrguteenus, saldeerimine, tõhusa koostootmise toetus, taastuenergia toetus

4. Hoone energiavarustuse lahendamine

4.1. Seadmete valik ja lühituvustus. Maagaasikatel, maasoojuspump, SEKmootor, PV-jaam.

4.2. Energiatootmise modelleerimine.

4.2.1. Soojusenergia tootmine. Soojusenergia tootismudelid: kaugküte, maagaasikatel, maasoojuspump, maagaasi SEKmootor (nädala ja ööpäevagraafikud).

4.2.2. Elektrienergia tootmine. Elektrienergia tootismudelid: Maagaasi SEKmootor, PV-jaam (nädala ja ööpäevagraafikud).

5. Tasuvusanalüüs. Investeeringukulud, püsikulud, muutuvkulud, lihttasuvusaeg, energiaühiku omahind hoones. Erinevate hoone energiavarustuse variantide aasta ja kuukulu lõpptarbijale

6. Energiavarustuse alternatiivide energiatõhususe võrdlev analüüs.

7. Kokkuvõte ja järeldused.

8. Kasutatud kirjandus.

9. Lisad.

8. Kasutatud kirjanduse allikad

„Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika“, Majandus- ja taristuministri määrus nr 58, 05.06.2015.

T.A. Kõiv, A. Rant. Hoonete küte, TTÜ Kirjastus õpik, 2012, 383 lk.

A. Rosin, S. Link, I. Drovtar. Energia lokaalse tootmise analüüs büroohoonele Osa III, TTÜ 2013 uuring

A. Meesak. Säästvate energialahenduste tasuvus. Eesti Taastuenergia Koda ettekanne <https://energiatalgud.ee>

9. Lõputöö konsultandid

Konsulendid puuduvad.

10. Töö etapid ja ajakava

Kirjanduse läbitöötamine, lähteandmete kogumine- veebruar 2020

Hoone energiakulu arvutused, tarbimisandmete analüüs- 10. märts 2020.a

Energiaturu hindade analüüs- 20.märts 2020.a

Tarbimise ja tootmise tasakaalu dimensioneerimine- 30. märts 2020.a

Tasuvusanalüüsi arvutused (lihttasuvusajad, energiaühiku omahind)- 10. aprill 2020.a

Energiatõhususarvu määramised- 10. aprill 2020.a

Teoreetilise osa kirjutamine- 25. aprill 2020.a

Graafikute ja diagrammide vormistus- 01. mai 2020.a

Juhendajale I läbilugemiseks- 03.mai 2020.a, II läbilugemiseks 10.mai 2020.a

Töö lõplik versioon valmis- 18.mai 2020.

## EESSÕNA

Juuresoleva magistritöö ideeks oli analüüsida hoone energiavarustuse alternatiivseid variante, võrrelda nende majanduslikku tasuvust ja erinevate valikute mõju hoone energiatõhususele. Magistritöö kuulub energiamajanduse valdkonda. Teema pakkus välja töö autor, kuna see pakkus huvi ja puudus teave, kas sellist analüüsi on varem väiksemahulise kaubandushoone kohta koostatud. Tegemist on energiamajanduse valdkonna magistritööga.

Sooviksin tänada juhendajat prof. Juhan Valtin, kes motiveeris lõputööd koostama. Erilised tänud veel sisendandmete väljastajatele: COOP haldusjuht hr. A.P., kes edastas Ihaste COOP hoone energiatarbe andmed; Kaarsilla Kinnisvara OÜ hoonehaldur pr. E.T., kes saatis Tartus Ringtee Selver päikeseelektrijaama tegelikud tootmisandmed ja endise Haaslava omavalitsuse ehitusnõunik hr. H.T., kelle kaasabil väljastati maagaasi ja võrguteenuse arved Gaasivõrgud AS võrgupiirkonna kohta. Nende usalduseta ei oleks saanud analüüsi läbi viia. Eriline tänu veel Erso Eleker OÜ esindajale hr. T.P., kes e-kirjades selgitas maagaasil töötavate soojuse- ja elektri koostootmismootorite töörežiimi tehnilisi parameetreid, hooldusnõudeid ja paigaldiste maksumust.

Võtmesõnad: hoone elektri- ja soojusenergia vajadus, elektriturg, maagaasiturg, väiketootmisseedmed, lokaalne tootmine, energiaühiku omahind hoones, majanduslik tasuvus, energiatõhusus, varustuskindlus, magistritöö.

Töö autori Andre Kaareste kontaktandmed on akaareste@gmail.com

## SISSEJUHATUS

Riigi huvi on toetuste vaba kliimaneutraalne energiatootmine. Omaniku huvi on mugav ja kulutõhus energia tarbimine. Energiavarustuse süsteemides püütakse lahendada „Trilemma“, kus otsitakse tasakaalu varustuskindluse, energia maksumuse, keskkonnanahoiu vahel. Sarnast lähenemist saab kasutada lisaks suurenergeetikale ja väikestes süsteemides, näiteks uute kaubandushoonete energiavarustuses. Teema pakkus huvi, kuna seoses valg- linnastumisega toimub selliste tüüphoonete rajamine igapäevaselt ja optimaalse lahenduse leidmine energiavarustusele selles olukorras omab praktilist väärtust. Töö saab liigitada energiamajanduse valdkonda.

Uuritavaks objektiks valiti kaubandushoone, kus paiknevad toidukaupluse müügisaal ja laoruumid ning eraldi apteek või muu teeninduspind. Selliseid tüüphooneid (kasuliku pinnaga 800-1500 m<sup>2</sup>) rajatakse sageli uusehitistena äärelinnadesse ja maapiirkonna keskasuladesse. Analüüsi käigus oli eesmärk leida vastused küsimustele: kui palju kogu energiatarbest on võimalik asendada lokaalse omatootmisega, milline energiavarustuse lahendus on majanduslikult kõige soodsam ruumide kasutajast lõpptarbijale ja kuidas muutub hoone energiatõhususarv sõltuvalt valitud energiasüsteemist.

Töö on sisuliselt jaotatud kuueks peatükiks. Esimeses peatükis tutvustatakse üldisi energiamajanduse trende ja „Trilemma“ olemust. Teises peatükis leitakse hoone arvutuslik energiatarve ja võrreldakse seda tegelike tarbimisandmetega. Kogutarbimine jaotatakse tunnipõhiseks kogu aasta kohta. Kolmas peatükk koosneb energiaturu analüüsist. Vaadeldakse kaugkütte, maagaasi ja elektrituru pika- ja lühiajalisi hinna kujunemise trende ja määrati kindlaks sisendenergia 10.aasta keskmine hind koos võrguteenusega. Lisaks kirjeldatakse elektri tarbimisandmete saldeerimist, mis on aluseks riiklike subsidiumite maksmisele, kui omatoodangu ülejääk müüakse avalikku elektrivõrku. Antakse lühiülevaade taastuvenergia ja tõhusa koostootmise toetusmääradest. Neljandas peatükis modelleeritakse lokaalne tootmine väikeseadmetega. Esmalt valiti hoone energiavarustuseks sobivad tootmiseseadmed ja esitati nende kohta tooteinfo. Vastavalt tunnitarbimise andmetele koostati arvutiprogrammis MS Excel lokaalse tootmise kohta 4 soojusenergia tootmismudelit ja 2 elektri tootmismudelit. Väljavõtted nädalastest ja ööpäevastest tootmisgraafikutest on väljavõtetena lisatud töösse. Viiendas osas teostati tasuvusanalüüs, kus kasutati sisendenergia turuhindasid, tootmismudelitega leitud energiakoguseid ja leiti väljundenergia omahind hoones iga seadme kohta eraldi. Seejärel moodustati erinevates kombinatsioonides 8 varianti hoone soojuse- ja elektriga varustamiseks. Lõpuks leitakse 8 erineva variandi puhul nõrkuvalu ruutmeetri kohta kommunaalarvel

lõpptarbija jaoks. Variandid asetati pingeritta kulutõhususest lähtuvalt. Kuuendas peatükis koostatakse energiatõhususe arvutused 8 variandi kohta, et hinnata milline energiavarustuse kombinatsioon on kõige keskkonnasõbralikum. Ühtlasi määratakse energiatõhususe andmete alusel iga variandi kohta hoone energiaklass.

Kokkuvõttes osas koostatakse koondtabel „Trilemma“ lahendamiseks, kuhu on koondatud tulemused energiavarustuse maksumuse, energiatõhususe ja varustuskindluse kohta kõigi 8 energiasüsteemi variandi kohta. Tehakse järeldused ja esitatakse töö autori soovitusel millist hoone energiavarustuse varianti, millises olukorras eelistada.

Uurimismeetoditena kasutatakse alternatiivide võrdlust. Metoodika põhineb vaatlustel ja arvutustel, energiavoogude modelleerimisel. Analüüsiks kasutatakse MS Excel arvutiprogrammi ja valemeid ning seadmete tootelehtedel esitatud tehnilisi andmeid.

Lisades on kasutatud alusandmeid sisaldavad dokumendid, võrguteenuse kehtivad hinnakirjad, mõned näited paigaldatud väiketootmisseadmetest.

## 1. ENERGIAMAJANDUSE TRENDID, EESMÄRGID JA MÕÕDIKUD

Maailmas püütakse läbi viia energiapööret, mille eesmärgiks on loobuda järjest enam fossiilsetel kütustel põhinevatest energiakandjatest ja tehnoloogiast ning asendada neid taastuvatel energiaallikatel põhinevate tehnoloogiatega. Kogu tegevus on põhjustatud asjaolust maailma kliima soojeneb ja põhjuseks loetakse suurt CO<sub>2</sub> heitmete kogust, mis paisatakse atmosfääri. Kliima- ja keskkonnaaktivistide poolt on tehtud sel teemal palju kriitikat ja nõutakse kiireid lahendusi. Lahendusi otsivad paraku energeetikud ja insenerid. Päikese- ja tuuleenergial põhinevad tootmisseedmed ei ole ajas juhitavad ja sõltuvad ilmastikuoludest, seega saab neid riikide tootmisportfellis töös hoida üksnes kombinatsioonis juhitavate tootmisseedmetega, mis kasutavad kütust, tihti fossiilset. Sellele vaatamata üritatakse taastuvatel allikatel põhineva tehnoloogia osakaalu tootmisportfellis järjest suurendada. Kuna energiavarustuses on põhiline eesmärk hoida tootmine ja tarbimine ajas tasakaalus, siis eeldab see elektrivõrkude massiivset ümberehitust, riikidevahelisi ühendusi ja energiasalvestite olemasolu. Sageli pole need tarbijale taskukohased. Selleks, et energiaettevõtted oleksid motiveeritud tegutsema muudatuste suunas on poliitiliselt kokku lepitud subsidiumite maksmine investeringute tasuvusaegade lühendamiseks ja energia väljamüügihinna hoidmiseks senisele lähedasel tasemel.

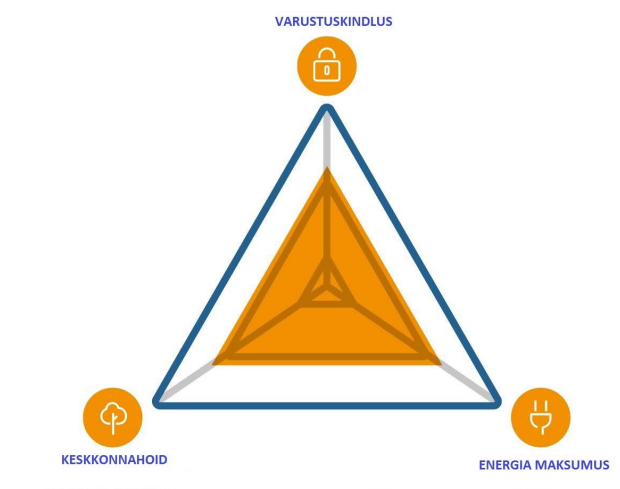
Ülemaailmselt on selleks püütud kokku leppida mitmeid poliitilisi meetmeid. Õiguslikult siduv globaalne Pariisi kliimakokkuleppe sõlmiti detsembris 2015.a, osales 195 riiki. Sellest kokkuleppest on seni üritanud kõrvale hoida maailma suuremad riigid India ja tööstusriigid USA, Vene Federatsioon. Euroopa liidu liikmesriigid, sh Eesti, on kliimaleppega ühinenud ja selle raames on püstitatud eesmärgid aastaks 2030 ja aastaks 2050. Need mahuvad mõiste „Rohelisem Euroopa“ alla.

„Kõige ambitsioonikam on uue Euroopa Komisjoni rohelepe, mis peaks kogu Euroopa majandust tüürima aastaks 2050 kliimaneutraalsuse suunas, mis peenemalt öeldes tähendab keskkonnahoidlikku ja vähese CO<sub>2</sub> heitega Euroopat, puhtale energeetikale õiglast üleminekut [1].

„Rohelisem Euroopa tähendab investeringuid energiasüsteemi ümberkujundamisse, taastuenergia arendamisse ja kliimamuutuste ennetamisse ning nende mõju leevendamisse. Muu hulgas on struktuurivahendite toel kavas luua võimalusi säästlikumaks energiatarbimiseks, uuendada transporditaristut ja parandada hoonete energiatõhusust“ [2].

Euroopa Liidu ühtekuuluvuspoliitika raames on kavas aastatel 2021-2027 Euroopa Liidus investeerida vähemalt kuni 100 miljardit eurot, Eestisse on kavandatud investeringuteotusi summas 478 miljonit eurot.

Energiamajanduse hindamisel soovitakse tavaliselt kasutada ühtseid mõõdikuid, et tulemused oleks omavahel võrreldavad. Energiasüsteemide kavandamisel on levinud lähenemine, et lahendatakse „Trilemma“, st püütakse leida tasakaal energia maksumuse, keskkonnanahoiu ja varustuskindluse vahel Joonis 1.1. Sellist mõõdikut kasutatakse enamuse maailma riikide energeetikale hinnangu andmiseks.



Joonis 1.1. Energiasüsteemide trilemma

Allikas: <https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/world-energy-trilemma-index> [3].

Teatavasti suur maailm koosneb väikestest asjadest. Sarnast lähenemist saab kasutada lisaks suurenergeetikale ka väikestes süsteemides, näiteks uute kaubandushoonete (kasulik pind 800-1500 m<sup>2</sup>) energiavarustuses. Eesti riigi huvi on toetuste vaba kliimaneutraalne energiatootmine. Omaniku huvi on mugav ja kulutõhus energia tarbimine. Riiklike regulatsioonidena kehtestatakse järjest rangemaid energiatõhususe nõudeid uusehitiste püstitamisel. Seetõttu on oluline uute hoonete rajamisel muuhulgas leida nende energiavarustuseks õiged seadmed ja optimaalne lahendus.

## 2. HOONE ENERGIATARBE ANALÜÜS

### 2.1 Hoone valik

Väiksemahulisi kaubandushooneid rajatakse äärelinnadesse ja maapiirkonna keskasuladesse. Töö käigus analüüsiti sellistele tunnustele vastavate uute tüüphoonete olemasolu Tartu linna lähiümbruses (50 km raadiuses) ja nende senist või kavandatud energiavarustust. Tulemused on esitatud Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Uued kaubandushooned maapiirkonnas Tartu linna lähialal

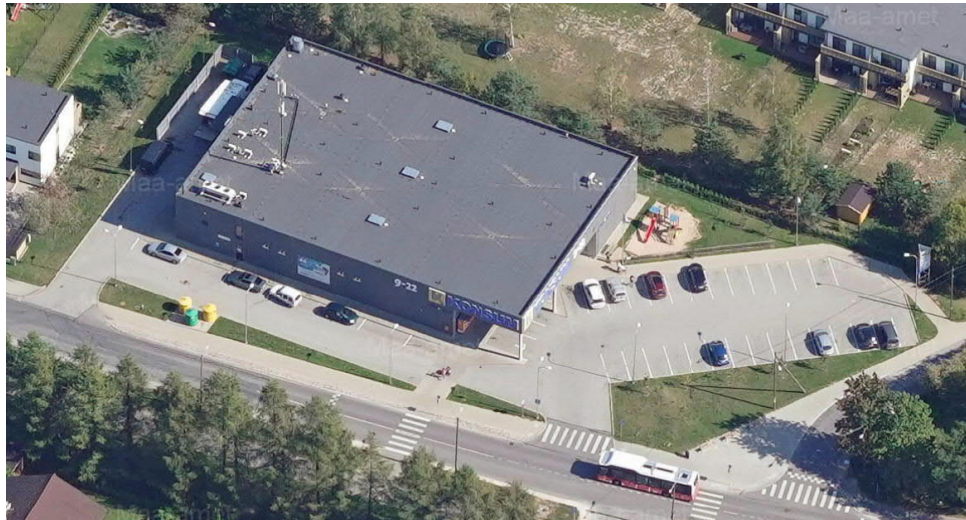
Nimetus	Kataster	Ehitusaasta	Kõetav pind	Kütteliik	Elektrivarustus
Ahja COOP	11701:001:0063	1996	841	maagaas	el_võrk+PV paneel
Ihaste COOP	43201:003:0176	2016	1380	maagaas	elektrivõrk
Kambja COOP	28201:001:0148	2015	815	kaugküte	elektrivõrk
Nõo COOP	52801:001:0542	2017	852	pellet	elektrivõrk
Märja COOP	83101:001:0694	2019	1115	maagaas	elektrivõrk
Tõrvandi COOP	94901:001:0332	2017	1227	maagaas	elektrivõrk
Vahi COOP	79401:006:0574	ehitamisel	1218	maagaas	elektrivõrk
Alatskivi COOP	12601:001:0211	ehitamisel	725	maasoojus	elektrivõrk

Täpsemaks analüüsiks valiti Ihaste COOP hoone. Hoone kasutusotstarve vastab riikliku määruse järgi kaubandushoone tunnustele. Ruumiprogrammi järgi paiknevad kaubandushoones toidukaupluse müügisaal ja laoruumid ning eraldi apteegiruum. Müügisaalis on tavapärased külmkambrid- ja letid ning kööginurk lihtsamate kuumtoidete valmistamiseks. Olemasoleva olukorra iseloomustamiseks on lisatud foto hoone välisvaatest Joonis 2.1. Hoone tehnilised andmed on esitatud Tabelis 2.2.

Tabel 2.2. Hoone tehnilised andmed

<b>HOONE</b>	
hoone tüüp	kaubandushoone
ehitusreg. kood	120750545
korruselisus	1 korrus (põhimahus)
kõetav pind	1197 m <sup>2</sup>
kõetavate ruumide kubatuur	7757 m <sup>3</sup>
piirdetarindite õhulekke baasväärtus	2,5 m <sup>3</sup> /(h*m <sup>2</sup> )
<b>HOONE TEHNOSEADMED</b>	
el.peakaitse	3*250 Amp
gaasikatla nimivõimsus	90kW
soe tarbevesi	gaasikatel
katla kasutegur	95%
küttesüsteemi akumulatsioonipaak	10 m <sup>3</sup>
kütte jaotussüsteem	põrandatorustik
jaotussüsteemi kasutegur	85%
soojustagastusega ventilatsioon	jah
soojustagastus	80%

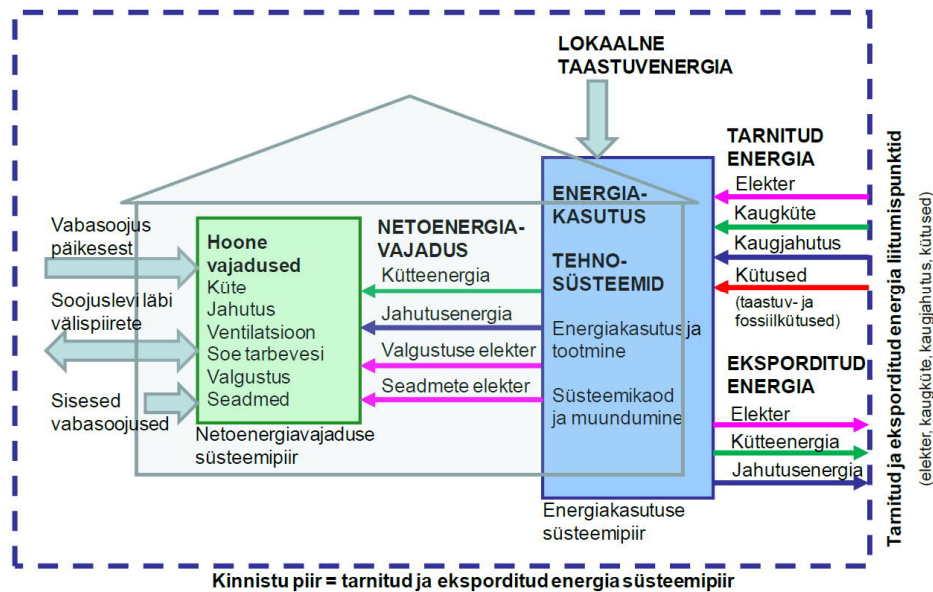




Joonis 2.1. Kaubandushoone I haste COOP välisvaade  
Allikas: fotoladu.maaamet.ee

## 2.2. Arvutuslik energiatarve

Arvutuslik osa põhineb Majandus- ja taristuministri 05.06.2015 vastuvõetud ääruasel nr 58 „Hoone energiatarvuse arvutamise meetodika“ [4]. Arvutuslik elektri- ja soojustarve leiti lihtsustatud korras. Sisend- ja väljundenergia süsteemi piir on esitatud Joonis 2.2.



Joonis 2.2. Tarnitud ja eksporditud energia süsteemi piir  
Allikas: MTM määrus nr 58 „Hoone energiatarvuse arvutamise meetodika“ Lisa 1

Arvutuslik elektrienergia vajadus. Elektarviti kasutusaste leitakse riiklikus määruses esitatud tabelandmetest. Valgustuse ja seadmete elektritarbe määramisel kasutatakse riiklikus määruses esitatud valemit:

$$Q = kP \frac{\tau_d \tau_w 8760}{24 \cdot 7 \cdot 1000}$$

kus  $k$  on kasutusaste;

$P$  on soojuseraldus  $W/m^2$ ;

$\tau_d$  on hoone kasutustundide arv ööpäevas  $h$ ;

$\tau_w$  on hoone kasutuspäevade arv nädalas  $d$ .

Arvustulemus valgustus:	73 278 kWh
Arvustulemus tavatehnika:	3 864 kWh
Arvustulemus ventsüst.käitamine:	4 692 kWh

Vesipõrandaküttes ringluspumbale kuluva elektritarbimise aastakulu leidmiseks kasutatakse riiklikus määruses esitatud erikulu tabelandmeid. Määramisel lähtuti mitteelamu kohta esitatud piirväärtusest  $1 \text{ kWh}/(m^2 \cdot a)$ . Hoones küttesüsteemi ringluspumba käitamiseks vajalik elektrienergia vajadus on:

$$1 \cdot 1197 \text{ m}^2 = 1 197 \text{ kWh}$$

Arvutuslik soojusenergia vajadus. Eeldatakse, et kaubandushoone ehitatakse kvaliteetselt, see vastab Majandus- ja taristuministri 03.06.2015 määrusega nr 55 vastu võetud „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“ [5] välispiirete lubatud normatiividele. Soojuslähivus: välissein  $0,25 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$ , katus ja põrand  $0,20 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$ ; aknad ja uksed  $1,1 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$ . Konstruktsioonid on tihendatud nõuetekohaselt ja hoone õhulekkearvu baasväärtuseks loetakse minimaalne 2,5. Kõetava ruumi pindala on  $A=1197 \text{ m}^2$  ja ruumala  $V= 7182 \text{ m}^3$ .

Leiti kaubandushoone summaarne soojuserikadu läbi välispiirete kõetava pinna ruutmeetri kohta. Lähteandmed ja arvustulemused on esitatud Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Hoone välispiirete soojuskadude arvutus

Allikas: prof. J.Kurnitski konspekt 2017

Piirdetarind	$U_i$	$A_i$	$H_{cond}$	Külmasillad	$\Psi_k$	$l_k$	$H_{tb}$	Infiltratsioon	$H_{inf}$
	W/(m <sup>2</sup> ·K)	m <sup>2</sup>	W/K		W/(m·K)	m	W/K		W/K
X	0	0,0	0,0						
Välissein	0,25	838,2	209,6	Sein-sein	0,2	44,8	9,0	$q_{so.}$ m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )	2,5
Katuslagi	0,2	1197,0	239,4	Katus-sein	0,2	151,0	30,2	Korruste a	1
Põrandpinnasel	0,2	1197,0	239,4	Vahelagisein	0	0,0	0,0		
X	0	0,0	0,0						
Aken	1,1	68,1	74,9	Põrand-sein	0,30	151,0	45,3	$A_{env.}$ , m <sup>2</sup>	3314,1
Välisuks	1,1	13,8	15,2	Aken-sein	0,2	104,3	20,9	$q_{inf.}$ , m <sup>3</sup> /s	0,0658
Summa	$H_{cond.}$ , W/K		778,4	$H_{tb.}$ , W/K		105,3	$H_{inf.}$ , W/K	78,9	
$H = H_{cond} + H_{tb} + H_{inf}$				W/K		962,7			
Kõetav pind				$A_{floor.}$ , m <sup>2</sup>		1197			
Välispiirete summaarne soojuserikadu kõetava pit				W/(K·m <sup>2</sup> )		0,80			

Välispiirete soojuserikadu on ilma infiltratsioonita  $H/A = 0,74$  W/(K·m<sup>2</sup>). Hoone õhuvahetuseks läbi ventilatsioonisüsteemi loeti 2l/sek·m<sup>2</sup> ja soojustagastuseks 80%. Siseruumide tasakaalutemperatuuriks loeti 16°C, temperatuurile vastavaks normaalaasta kraadpäevade arvuks Tartu piirkonnas on  $S_{16} = 3975$  Kd. Valemite abil arvutati aasta soojuskaod läbi välispiirete, avatäidete, joonkülmasildade ja infiltratsioonist ning ventilatsioonist järgmiselt:

Soojuskaodu välispiiretest ja joonkülmasildadest:

$$Q_{juht} = GS_T$$

$$Q_{juht} = 0,74 \text{ W/Km}^2 * 1197 \text{ m}^2 (1 \text{ kW}/1000 \text{ W}) * 3975 \text{ Kd} * 24 \text{ (h/d)} = \mathbf{84\ 310 \text{ kWh}}$$

Soojuskaod infiltratsioon (konstruktsiooni õhulekked):

$$Q_{inf} = \dot{C}_{inf} S_T$$

$$Q_{inf} = 0,231 \text{ /h} * 1197 \text{ m}^3 (1 \text{ h}/3600 \text{ sek}) * 1,2 \text{ kg/m}^3 * 1,0 \text{ kJ/kgK} * 3975 \text{ Kd} * 24 \text{ h/d} = \mathbf{53021 \text{ kWh}}$$

Soojuskaod ventilatsioonist:

$$Q_v = \dot{C}_v S_T (1 - \eta_{ST})$$

$$Q_v = 0,665 \text{ l/h} * 1197 \text{ m}^2 * 1,2 \text{ kg/m}^3 * 1,0 \text{ kJ/kgK} * 3975 \text{ Kd} * 24 \text{ h/d} (1 - 0,2) = \mathbf{16\ 536 \text{ kWh}}$$

Soojuskaod kokku:

$$Q = Q_{juht} + Q_{inf} + Q_v$$

$$Q = 84\,310 \text{ kWh} + 53\,021 \text{ kWh} + 16\,535 \text{ kWh} = \mathbf{153\,867 \text{ kWh}}$$

Vesipõrandakütte jaotamise kasutegur on 0,85%. Seega soojuskaod põrandasse on 15%, seega tuleb see osa soojust küttejaotussüsteemi juurde toota:

$$153\,866 \text{ kWh} \cdot 0,15 = \mathbf{23\,080 \text{ kWh}}$$

Tarbevee soojendamise erikulu ruutmeetri kohta leidmiseks kasutatakse riiklikus määruses esitatud tabelandmeid. Kaubandushoone puhul on arvnäitaja 4 kWh/(m<sup>2</sup>\*a).

Hoones sooja tarbevee tootmiseks vajalik soojusenergia kogus on:

$$4 \cdot 1197 \text{ m}^2 \cdot 4 = \mathbf{4\,788 \text{ kWh}}$$

Arvutuslik soojusvõimsuse vajadus.

Välisseinte ja avatäidete soojuskao kompenseerimiseks vajalik soojusvõimsus arvutati valemiga:

$$\phi_{piirdeed} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot U_i \cdot (t_{si} - t_{va}) \quad \text{Arvutustulemus: } 24\,166 \text{ W}$$

Joonkülmasildade soojuskao kompenseerimiseks vajalik soojusvõimsus arvutati valemiga:

$$\phi_{joonkülmasild} = \Psi \cdot l \cdot (t_{si} - t_{va}) \quad \text{Arvutustulemus: } 4318 \text{ W}$$

Infiltratsiooni (konstruktsiooni õhulekked) soojuskao kompenseerimiseks vajalik soojusvõimsus arvutati valemiga:

$$\phi_{inf} = L_{inf} \cdot \rho_{\ddot{o}} \cdot c_{\ddot{o}} \cdot (t_{si} - t_{va})$$

Õhuvahetuskordsus  $L_{inf} = 0,231 \text{ l/h}$  Arvutustulemus: 22 787 W

Ventilatsioonisüsteemi sissepuhke soojendamiseks 20% ulatuses (soojustagastus 80%) vajalik soojusvõimsus arvutati valemiga:

$$\phi_{vent} = L_{vent} \cdot \rho_{\ddot{o}} \cdot c_{\ddot{o}} \cdot (t_{si} - t_{sp})$$

Õhuvahetuskordsus  $L_{vent} = 0,665 \text{ l/h}$  Arvutustulemus: 13 119 W

Valemities kasutatud tähiste selgitus:

$\Phi$ - soojusvõimsus soojuskao kompenseerimiseks

$A$  - pürde pindala  $m^2$

$U$  - soojusläbivus  $W(K*m^2)$

$t_{si}$  - tasakaalutemp siseruumis  $16^{\circ} C$

$t_{va}$  - arvestuslik välistemp  $-25^{\circ} C$

$t_{sp}$  - arvestuslik sissepuhke temp  $-25^{\circ} C$

$\Psi$  - joonsoojusläbivus  $W/(m*K)$

$l$  - külmasilla pikkus ( $m$ )

$L_{inf}$  - õhuvahetuskordsus siseruumis ( $l/h$ )

$L_{vent}$  - õhuvahetuskordsus siseruumis ventilatsiooni kaudu ( $l/h$ )

$\rho_{\delta}$  - õhu tihedus  $1,2 \text{ kg}/m^3$

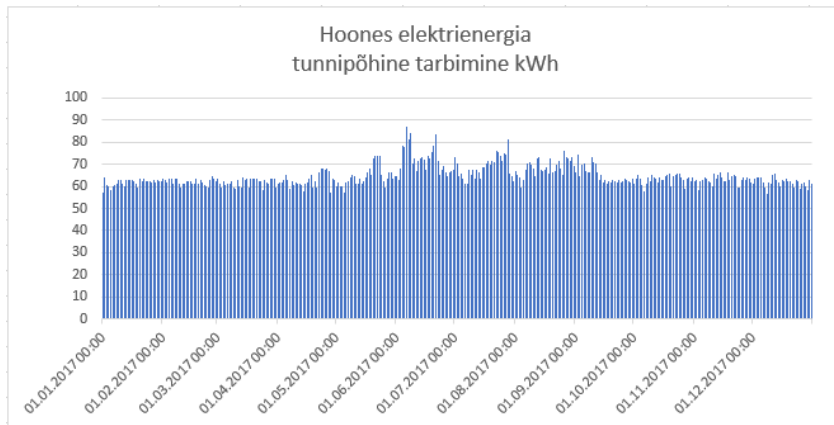
$C_{\delta}$  - Õhu erisoojus  $1005 \text{ J}/(\text{kg}*K)$

Arvutustulemused kokku hoone energiavajadus kohta:

Arvutuslik aasta elektrienergia vajadus	83 030 kWh
Arvutuslik aasta soojuse vajadus vajadus	181 740 kWh
Arvutuslik soojusvõimsuse vajadus	64,4 kW

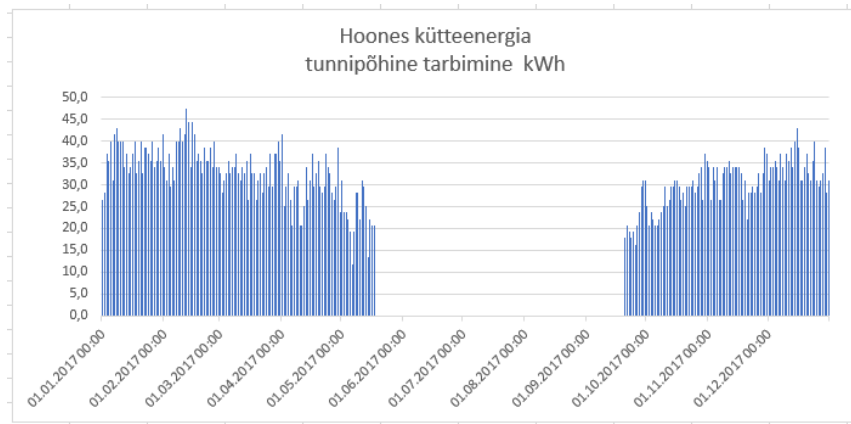
## 2.3. Tegelik energiatarve

Tegelik elektritarve. Elektrienergia tarbimise teatis laaditi hoone halduri kaasabil Elektrilevi OÜ veebilehelt 2019 aasta kohta. Peamised elektritarvitid hoones on valgustus ja kaupluse tavatehnika, küttesüsteemide käitamiseks vajalikud ringluspumbad ja ventilatsiooniseadmete käitamiseks vajalikud ventilaatorid. Eriotstarbelised elektritarvitid on külmkabrid ja letid ning köögitehnika kuumtoodete valmistamiseks. Hoone kogu elektritarve on  $447\,704 \text{ kWh} \cdot a$ . Sisendandmete alusel koostati kaubandushoone elektrienergia tunnipõhine tarbimisprofiil täisaasta kohta Joonis 2.3.



Joonis 2.3. Hoone elektrienergia tarbimisprofiil aastal 2019

Tegelik soojustarve\_ Hoone kogu soojustarve koosneb ruumide kütteenergiast ja vabasoojusest (inimesed, valgustid, kaupluse tavatehnika). Kütteseadmega toodetud soojusenergia hulga määramiseks saadi hoone haldurilt maagaasi kuupõhised tarbimisandmed täisaasta kohta. Maagaasi energiasalduse  $9,3 \text{ kWh/Nm}^3$ , gaasikatla kasutegur 97% ja vesipõrandakütte jaotusseadmete kasutegur 85% järgi leiti hoonesse sisse antud soojusenergia hulk ja see teisendati normaalaastale. Hoone kütteenergia vajadus normaalaastal on ligikaudu  $107\,500 \text{ kWh}\cdot\text{a}$ . Soojusenergia kogukulu jaotamiseks tunnipõhiseks kasutati samas piirkonnas, sarnaste tehniliste näitajatega hoone maasoojuspumba tunnipõhist küttekoormusgraafikut. Andmed olid tuletatavad soojuspumba elektrikulu andmetest, pumba soojusteguriks loeti COP 3,2. Küttekoormus tasandati põrandapinna ühiku kohta ja korrutati see kaubandushoone köetava pinna suurusega. Sisendandmete alusel koostati kaubandushoone kütteenergia tunnipõhine tarbimisprofiil täisaasta kohta Joonis 2.4.



Joonis 2.4. Hoone kütteenergia tarbimisprofiil normaalaastal

## 2.4. Arvutusliku ja tegeliku energiatarbe võrdlus

**Elektrienergia.** Arvutuslik hoone elektrienergia vajadus on aastas  $83\,000 \text{ kWh}$  so  $69 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ . Tegelik elektrienergia tarve on  $447\,700 \text{ kWh}$  so  $374 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ . Seega on tegelik elektrikulu 5,4 korda suurem, kui arvutuslik. Seda võib seletada asjaoluga, et suurtarbijateks on külmetid, külmutuskapid, mida arvutatakse energiaarvutustes eraldi elektritarvitite põhised. Tunnipõhiste andmete alusel on tipukoormus on  $87 \text{ kW}$  (06.06.2017.a kell 14.00), miinumkoormus  $27 \text{ kW}$  (03.05.2017.a kell 6.00).

**Järeldused.** Riikliku määruse alusel leitud arvutuslik elektrienergia kogus ei ole kaubandushoone puhul tõene. Tinglikult võib väita, et lihtsustatud energiaarvutustes võib

arvutuslikule elektritarbimisele toidukaubandushoone puhul lisada 250-300 kWh/m<sup>2</sup> külmutusseadmete (eriseadmed, kaupluse inventaar) jaoks.

**Soojusenergia.** Arvutuslik hoone soojusenergia vajadus on normaalaastal 181 700 kWh so 152 kWh/(m<sup>2</sup>\*a). Tegelik soojusenergia tarve 191 200 kWh so 160 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Seega on tegelik soojuskulu 5% suurem, kui arvutuslik. Seda võib seletada asjaoluga, et kaubandushoonel avanevad välisruumid sagedasti väliskeskkonda. Uste automaatsel avanemisel tekivad täiendavad soojuskadud ei ole arvatavad ja see on otseselt küllastuste arvust. Kütteenärgiana tuleb hoonesse sisse anda 56% hoone kogu soojustarbust st ligikaudu 90 kW/(m<sup>2</sup>\*a), mida loetakse uue hoone puhul tavapäraseks näitajaks. Ülejäänud soojustarve kaetakse vabasoojusega inimestest, valgustitest ja kaupluse tavatehnikast.

**Soojusvõimsus.** Arvutuslik soojusvõimsuse vajadus hoones on ligikaudu 65kW, so 54 W/m<sup>2</sup>. Tunnipõhiste andmete alusel on tegelik kütteenärgia tipukoormus 48 kW (12.02.2017.a kell 21.00), miinimumkoormus 1,5 kW (30.09.2017 kell 2.00). Küttevaba periood on 18.mai kuni 20.september. Kütteseadme töötundide arv aastas ligikaudu 5780 tundi.

**Järeldused.** Riikliku määruse alusel leitud arvutuslik ja tegeliku soojusenergia kulu on praktiliselt sama. Üldiselt loetakse kütteseadmete baaskoormuseks 80% tipukoormusest, see tähendab antud hoone puhul ligikaudu 38 kW, mida kinnitab ka tunnipõhine tarbimisprofiil (Joonis X). Üldistades võib väita, et paigaldades kütteseadmeid koguvõimsusega 55 W/m<sup>2</sup> kohta, siis katab see kaasaegselt ehitatud kaubandushoone puhul kütteenärgia vajaduse ka kõige külmemal talvapäeval. Tulemused on esitatud võrreldaval kujul Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Hoone arvutusliku ja tegeliku energiatarbe võrdlus

ENERGIATARBE VÕRDLUK_ELEKTER						Tasakaalutemp. 16C, Tartu piirkond	
ARVUTUSLIK	kWh	kWh/m <sup>2</sup> *a	osakaal_%	osakaal	kWh/m <sup>2</sup> *a	kWh	TEGELIK
Valgustuselekter	73278	53,1	16	100	374,0	447705	Tarbeelekter
Kaupluse tavatehnika elekter	3864	2,8	1				
Ventilaatorite kütamise elekter	4692	3,4	1				
Kütte ringluspumba elekter	1197	0,5	0				
<b>ELEKRIENERGIA VAJADUS</b>	<b>83031</b>	<b>59,8</b>	19		<b>374,0</b>	<b>447705</b>	<b>ELEKTRITARBE HOONES KOKKU</b>
Puudujääk (-)	364674	304,7	-81				
ENERGIATARBE VÕRDLUK_SOOJUS						Tasakaalutemp. 16C, Tartu piirkond	
ARVUTUSLIK	kWh	kWh/m <sup>2</sup> *a	osakaal_%	osakaal	kWh/m <sup>2</sup> *a	kWh	TEGELIK
Soojuskaod välispiiretest	84310	70,4	46	56	89,8	107511	Gaasikatla küttesoojus normaalaastal*
Soojuskaod infiltratsioonist	53021	44,3	29	9	14,0	16758	Vabasoojus inimestest
Soojuskaod ventilatsioonist	16536	13,8	9	33	53,1	63561	Vabasoojus valgustitest
Tarbevee soojendamise	4788	4,0	3	2	2,8	3352	Vabasoojus kaupluse tavatehnikast
Soojuskaod vesipõrandaküte 15%	23080	19,3	13				
<b>SOOJUSENERGIA VAJADUS</b>	<b>181735</b>	<b>151,8</b>	100	100	<b>159,7</b>	<b>191181</b>	<b>SOOJUSTARBE HOONES KOKKU</b>
Puudujääk (-)	9446	7,9	-5				
SOOJUSVÕIMSUSE VÕRDLUK							
ARVUTUSLIK	kW	W/m <sup>2</sup>	osakaal_%	osakaal	W/m <sup>2</sup>	kW	TEGELIK
Välispiirete soojuskaod komp.	24,2	20	38	100	40	47,8	Gaasikatla tipp 12.02.2017 kell 21*
Joonkülmasiladade soojuskaod komp.	4,3	4	7				
Infiltratsiooni soojuskaod komp.	22,8	19	35				
Vent. sissepuhke soojendamise	13,1	11	20				
<b>SOOJUSVÕIMSUSE VAJADUS</b>	<b>64,4</b>	<b>54</b>	100		75	90	<b>SOOJUSVÕIMSUS HOONES</b>

\*- modeleeritud maasoojuspumba elektritarbe alusel

### 3. Energiaturu analüüs

#### 3.1. Kaugküte maapiirkondades.

Eesti seaduste järgi peab kaugkütte ettevõtja võrguteenuse ja soojusenergia hinna tarbijale müügiks kooskõlastama riigi Konkurentsiametiga. Soojusenergiat kaugkütevõrkudesse toodetakse linnades suurtes koostootmisjaamades ja maapiirkondades puiduhakke või gaasikatlamajades. Ülevaate saamiseks koostati ülevaade kaugküttehindadest aastal 2020 Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Kaugkütte hind maapiirkondades  
Allikas: konkurentsiamet.ee

Sisendenergia	Asula	kinnitatud eur/MWh	keskmine eur/MWh	Tarbijahind eur/MWh KM_ga
*SEKtootmine	Tallinn	50,14	52	63
*SEKtootmine	Tartu	53,35		
*SEKtootmine	Pärnu	53,29		
maagaas	Tõrvandi	56,49	60	72
maagaas	Ülenurme	56,49		
maagaas	Ahja	66,20		
hakkepuut	Puhja	55,97	69	83
hakkepuut	Kambja	63,10		
hakkepuut	Kanepi	64,00		
hakkepuut	Tabivere	64,83		
hakkepuut	Mooste	65,64		
hakkepuut	Tõravere	73,43		
hakkepuut	Nõo	72,70		
hakkepuut	Luunja	77,45		
hakkepuut	Võnnu	77,66		
hakkepuut	Märja	78,68		

\*- soojuse ja elektri koostootmine suures energiajaamas, kasutatakse puiduhaket või turba/puiduhakke segu

Järeldused. Üldistades võib väita, et linnades on kaugkütte hind lõpptarbijale ligikaudu 63 eurot/MWh (koos kälbemaksuga). Väiksemates süsteemides on ühikuhind kõrgem, sest tarbijaid on vähem ja need paiknevad hõredamalt, seega investeeringu ja püsikulud tarbimisühiku kohta kõrgemad. Linnapiirkonnaga võrreldes oli maapiirkondades 2020 aastal kooskõlastatud kaugkütte hind 15-30% kõrgem, maagaasist tootes ligikaudu 72 eurot/MWh ja puiduhakkest tootes 83 eurot/MWh [6]. Uuendatud süsteemides on varustuskindlus kõrge ja hinnad stabiliseerunud ega muutu oluliselt. Juuresolevas töös võetakse sisendandmetena aluseks maapiirkonnas puiduhakkest toodetud kälbemaksuta kaugküttehind 69 eurot/MWh.

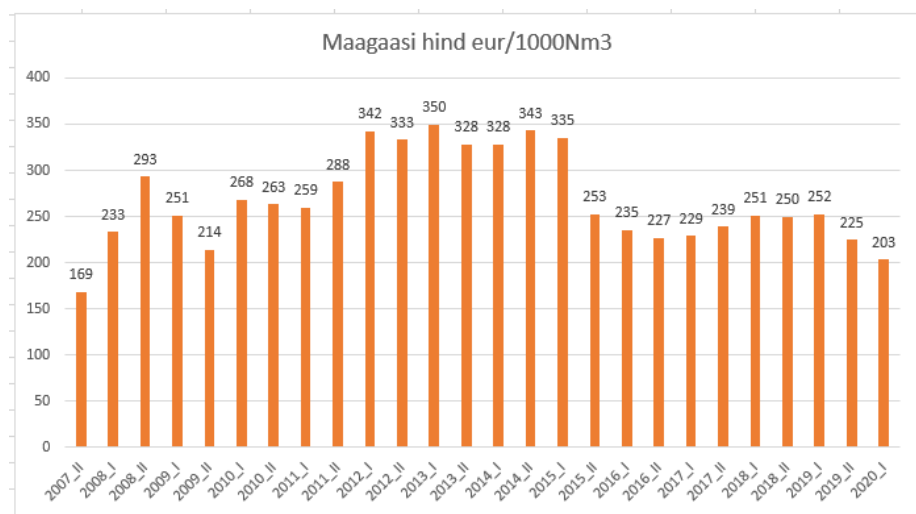


## 3.2. Maagaasi turg

Maagaasi turg on Eestis alates 2017 aastast vaba ja põhineb börsihindadel. Hind on ajas volatiilne ja oleneb kütteõli hindadest maailma turul. Üldiselt on rahvusvahelistes uuringutes prognoositud pidevat maagaasi hindade tõusu Euroopa Liidu maade tarbijatele. Juuresoleva töö vaatlusandmed seda väidet ei toeta. Maagaasi turg koosneb hulgiturust ja jaeturust lõpptarbijale. Bilansihalduri ja põhivõrgu operaatorteenust pakub Eering AS. Soome-Balti gaasiturust hulgituru hindade kohta on info leitav gaasibörsi getbaltic veebilehelt [7].

Jaehinna müügipakette saab lõpptarbijaja valida veebiaadressil [www.gaasihind.ee](http://www.gaasihind.ee) [8]. Jaotusvõrgu operaatorteenust pakuvad piirkondlikud võrguettevõtted, tuntumad Gaasivõrgud AS (end EG Võrguteenus AS), Adven Eesti AS jt.

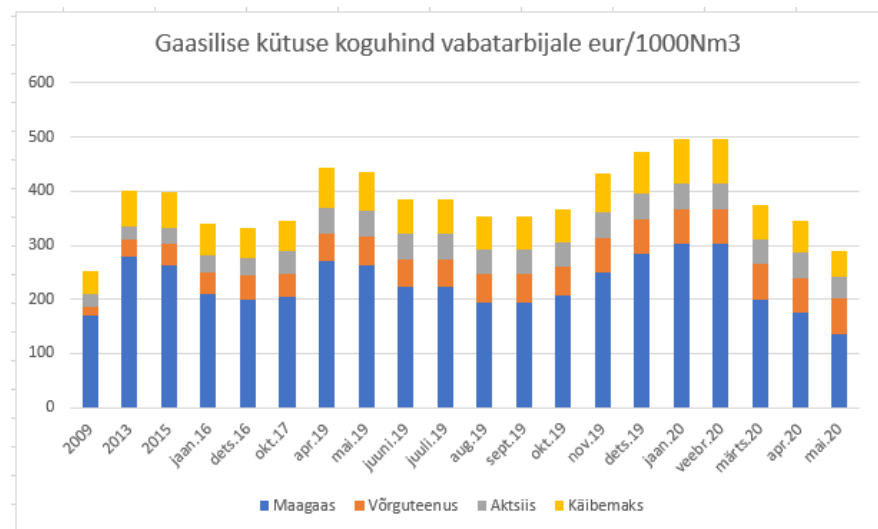
Eestis jaotatakse maagaasi tarbijad kaheks: kodutarbijad (aastatarbimine 200 kuni 100 000 Nm<sup>3</sup>) ja vabatarbijad (aastatarbimine 1000 kuni 500 000 Nm<sup>3</sup>). Kodutarbijatele on hind kõrgem ja vabatarbijatele madalam, olenedes peamiselt ostukogusest aastas. Mõistmaks hinna kujunemise pikaajalisi trende uuriti maagaasi hindasid vabatarbijale viimase 13 aasta jooksul. Hinnainfo koguti veebilehelt [energiatalgud.ee](http://energiatalgud.ee) [9] ja 220energia OÜ hinnapakumistelt. Vaatlusandmed on esitatud tulpdiaagrammina Joonis 3.1.



Joonis 3.1. Maagaasi hinnad vabatarbijale perioodil 2007-2020

Lõpptarbijaja puhul lisandub maagaasi hinnale lisandub Konkurentsiametiga kooskõlastatud võrguteenuse hind ja Maksu- ja tolliameti aktsiisimäär gaasilisele kütusele. Kõigele eelnevale lisandub lõpptarbijaja puhul käibemaks. Hinnakomponendid

on pidevas muutumises. Uuriti hinnakomponentide kujunemist vabatarbijale viimase 3 aasta jooksul. Hinnainfo koguti riigiasutuste veebilehelt maagaasi võrguteenuse kohta [10], maagaasi aktsiisi kohta [11] ja Haaslava KOV gaasiarvetelt. Vaatlusandmed on esitatud tulpdiagrammina Joonis 3.2.

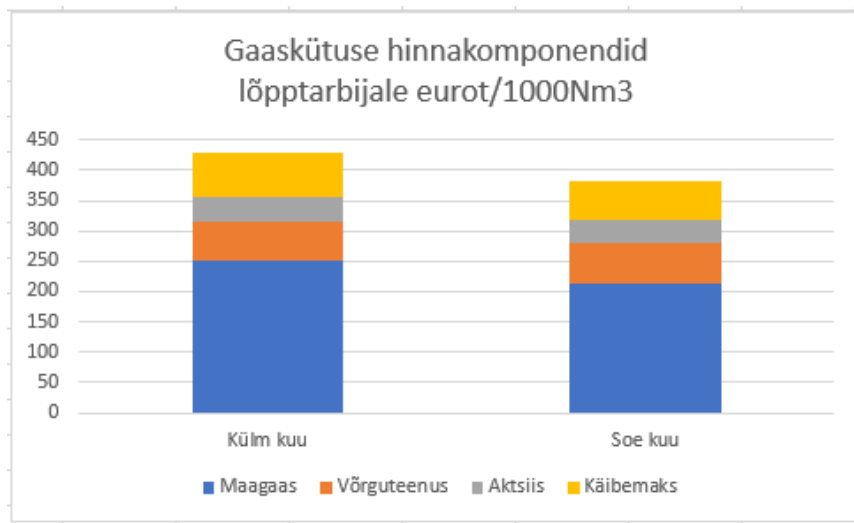


Joonis 3.2. Gaasilise kütuse hind lõpptarbijale

Järeldused. BalticConnector maagaasi põhivõrk rajati 2015-2019 ja see ühendab Baltimaade ja Soome gaasivõrgud ja -hoidlad ühtseks süsteemiks. Pärast süsteemi valmimist on tarbijate varustuskindlus suurenenud. Pärast gaasituru avamist 2017 aastal on hinnad kerges languses ja trend jätkub. Kodutarbijani hinnaalandus seni jõudnud ei ole, sest teised hinnakomponendid, võrguteenus ja aktsiis, on kallinenud. Tööstusliku ehk vabatarbija jaoks on maagaasi kasutus jätkuvalt soodne. Tarbimise aastamahu juures üle 100 000 Nm<sup>3</sup> on lootust, et aktsiisi määrad ei tõuse või alanevad (\*alanesid ajutiselt 01.mai 2020.a). Kuna ettevõtja saab kasutada pöördkäibemaksu, siis on tema jaoks maagaas energiaallikana 20% odavamalt kasutuses võrreldes lõpptarbijaga. Investeeringuotsustes võib ettevõtja pikaajalise keskmisena arvestada maagaasivarustuse kogumaksumusega (käibemaksu ei lisandu) kuni 300 eur/1000 Nm<sup>3</sup> kohta.

Lisaks uuriti maagaasi hinna sessoonset muutumist kalendrikuude lõikes viimase 5 aasta jooksul. Vaatlusandete alusel saab väita, et maagaasi keskmine turuhind kütteperioodi külmadel kuudel (detsember, jaanuar, veebruar, märts) on 251 eurot/1000Nm<sup>3</sup>. Ülejäänud kütteperioodi soojadel kuudel (september, oktoober, november, aprill, mai) 214 eurot/1000Nm<sup>3</sup>.

Maagaasi hinnale lisati Gaasivõrgud AS hinnakirja alusel hetke võrguteenuse hind 65 eurot/1000Nm<sup>3</sup> ja hetke maagaasi aktsiis 40 eurot/1000Nm<sup>3</sup> (\*alates 01.05.2020 on maagaasiaktsiis gaasikütteseadmetele ja koostootmismootorile sama). Lõpptarbija puhul lisandub käibemaks. Sellisel juhul on maagaasivarustuse hind lõpptarbijale külmal küttekuul 427 eurot/1000Nm<sup>3</sup> ja soojal küttekuul 383 eurot/1000Nm<sup>3</sup>. Maagaasivarustuse arve hinnakomponendid on kujutatud tulpdigrammina Joonis 3.3.



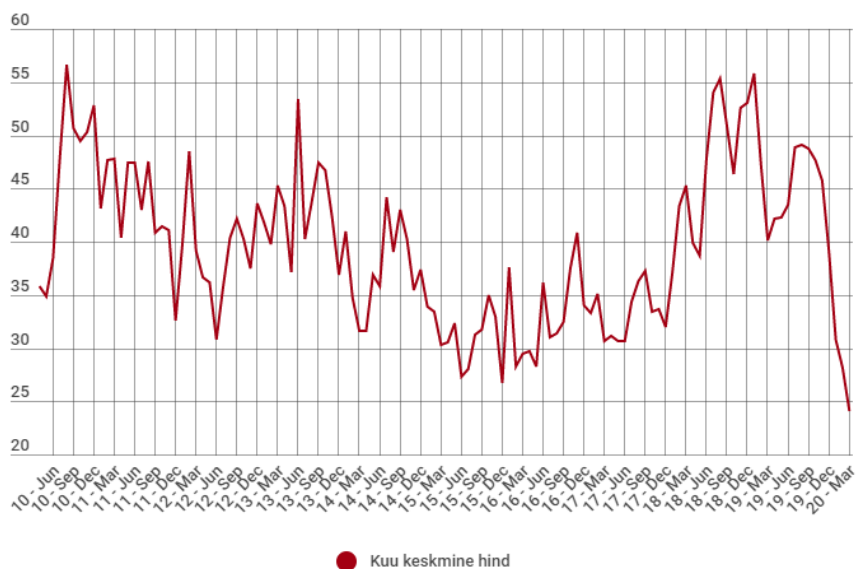
Joonis 3.3. Maagaasi arve hinnakomponendid lõpptarbijale aasta tarbimisega üle 100 000 Nm<sup>3</sup>

Juuresolevas töös võetakse sisendandmetena aluseks vabatarbija maagaasivarustuse käibemaksuta hind külmal küttekuul 365 eurot/1000Nm<sup>3</sup> ja soojal küttekuul 319 eurot/1000Nm<sup>3</sup>.

### 3.3. Elektriturg

Elektrienergia turg on Eestis alates 01.jaanuar 2013.a vaba ja põhineb börsihindadele. Eesti kuulub põhjamaade kauplemisruumi. Hind on ajas volatiilne ja oleneb energiatootmise liikidest, millised pääsevad hetkel turule. Seda mõjutab hüdroenergia tootmisüksuste kasutada olev veehulk põhjamaades ja CO<sub>2</sub> kauplemise hetkehind. Üldiselt on piiriülestes uuringutes prognoositud pidevat elektri keskmise hinna stabiilsusust, kerge trendiga odavnemise suunas. Juuresoleva töö vaatlusandmed teotavad seda väidet. Bilansihalduri ja põhivõrgu operaatorteenust pakub Elering AS. Põhjamaade elektrituru hindade kohta on info leitav elektribörsi NordPoolSpot veebilehelt [12]. Pikaajaline hinnavaatlus on esitatud graafikuna Joonis 3.4.

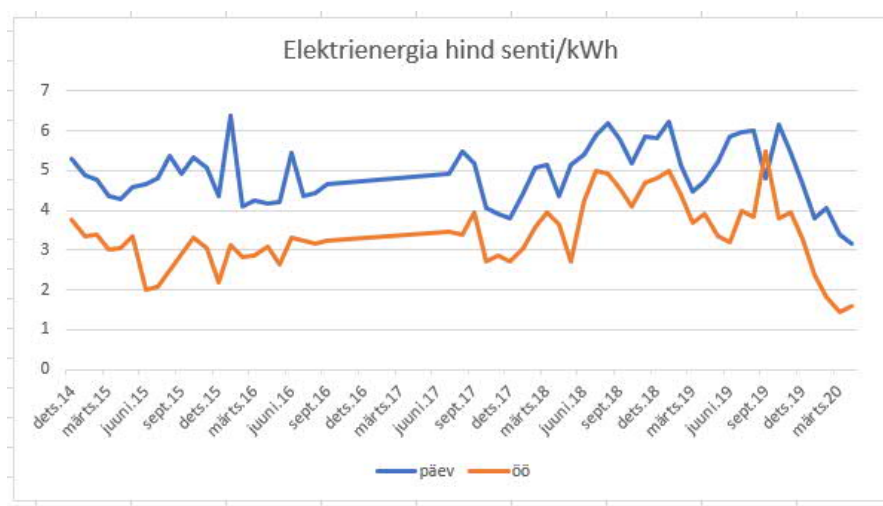
NordPool Spot Eesti piirkonna kuu keskmine hind EUR/MWh



Joonis 3.4. Elektrienergia kuu keskmine börsihind aastatel 2010-2020

Allikas: <https://tarbija24.postimees.ee/6937118/elektri-hind-oli-martsis-ajaloo-odavaim>

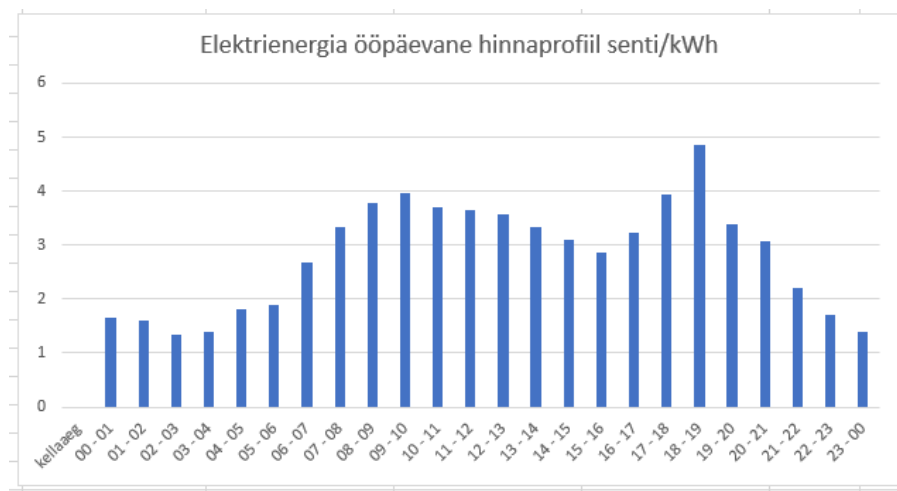
Lisaks kuukeskmistele on elektrienergia hinna kujunemine ööpäeva lõikes väga volatiilne. Jaehinna müügipakette saab lõpptarbija valida veebiaadressil [www.elektrihind.ee](http://www.elektrihind.ee) [13]. Elektrienergia hind arvetel lõpptarbijale koosneb päevasest ja öisest keskmisest kuutariifist. Hinnainfo koguti töö autori elektriarvetelt ajavahemikus 2015-2020. Vaatlusandmed on esitatud graafikuna Joonis 3.5.



Joonis 3.5. Elektrienergia kuu keskmised öö ja päevatariifid aastatel 2015-2020

Lisaks öö ja päevatariifi kuu keskmistele on tootmise kavandamise seisukohast oluline jälgida ka tunnihindu ööpäeva lõikes. Hind on kõrgem nendel tundidel, kui tarbijaid on võrgus palju ja madalam, kui tarbijate hulk võrgus väheneb. Hinnainfo koguti 7 päeva

keskmisena veebilehe 220energia.ee väljavõttelt. Vaatlusandmed on esitatud tulpdiagrammina Joonis 3.6.

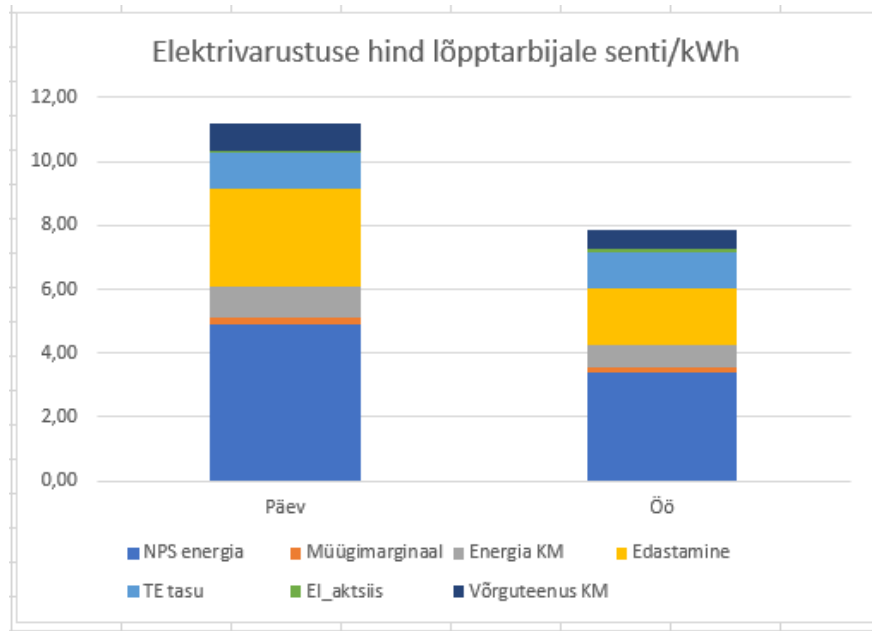


Joonis 3.6. Elektrienergia hinna muutus ööpäevas

### 3.4. Elektri võrguteenus

Võrguteenus jaotub elektri edastamise hinnapakettideks, eraldi kodutarbijad liitumispunktiga kuni 63 amprit ja suurtarbijad liitumispunktiga üle 63 ampri. Elektri edastamise teenus jaguneb kallimaks päevatariifiks ja odavamaks öötariifiks, mis kehtib ka nädalavahetusel. Hinnakirjad on leitavad Elektrilevi OÜ veebiaadressilt [14]. Võrguteenusele lisatakse taastuenergia tasu ja elektriaktsiis. Taastuenergia tasu kinnitatakse iga aasta Elering AS poolt, vastavalt sellele, kui palju on makstud subsiidiume kohalikele taastuenergia tootjatele eelneva aasta toodangu põhjal. Elektriaktsiis otsustatakse poliitiliselt. Lõpptarbijale lisandub koguarvele käibemaks.

Vaatlusandmete kohaselt on määrati kindlaks 5 aasta keskmised elektrienergia hinnad. Päevaseks hinnaks kujunes 4,92 senti/kWh ja öiseks 3,37 senti/kWh. Kui liitumisühenduseks on äritarbijaga VML2 pakett, st liitumist 0,4kV liinil üle 63 ampri, siis on võrguteenuse päevatariif 3,02 senti/kWh ja öötariif 1,78 senti/kWh. Lisandub läbilaskevõime kuutasu 38 senti/A ja võrguühenduse kuutasu 17,87 eurot. Arvele lisandub veel taastuenergia tasu 1,13 senti/kWh ja elektriaktsiis 1 senti/kWh (\*muutus alates 01.05.2020). Lõpptarbijale lisandub koguarvele käibemaks 20%. Elektrivarustuse koguhind lõpptarbijale on päevatariif 11,21 senti/kWh; öötariif 7,86 senti/kWh. Arve hinnakomponendid on kujutatud tulpdiagrammina Joonis 3.7.



Joonis 3.7. Elektriarve hinnakomponendid lõpptarbijale, võrguliitumisel üle 63A

Juuresolevas töös võetakse sisendandmetena aluseks elektrivarustuse koguhind üle 63A liitujale ilma käibemaksuta päevane 100,70 eurot/MWh ja öine 72,80 eurot/MWh.

### 3.5. Saldeeritud tunniandmed

Lokaalsed elektritootmise seadmed annavad võimaluse toota ja tarbida omatoodetud elektrit. Juhtudel, kui omatarbest ülejääv elekter antakse võrku, siis on võimalik saada elektrituruseaduses sätestatud taastuvenergia ja tõhusa koostootmise toetust. Elektrituruseaduse §58 lõige 2 alusel loetakse toetusaluseks koguseks kauplemistunnis võrku antud saldeeritud toodang. See tähendab, et võrreldakse iga tunni tootmist ja tarbimist. Saldeeritud tunniandmed on võrku antud elektrienergia miinus võrgust võetud elektrienergia igas tunnis. Võrguteenus eest tasutakse tunnis võrgust võetud kogu energia eest. Elektriaktsiis tuleb tasuda nii omatarbeks toodetud, võrku toodetud kui ka võrgust võetud elektrienergia koguse pealt. Toetuse maksab välja Elering AS tootmisandmete alusel, mis laekuvad igakuiselt põhivõrgu operaatore rakendusse „Andmeladu“ kaugloetavate arvestite abil.

### 3.6. Tõhusa koostootmise toetus

Tõhusa koostootmise toetuse määr on 3,2 senti/kWh elektri eest. Toetusalune summa arvutatakse saldeeritud tunniandmete alusel. Tõhusa koostootmise toetust saavad energijaamad, kus toodetakse maagaasist soojust ja elektrit koostootmisrežiimil. Elektrit võib toota ainult nõ soojusenergia kõrvalsaadusena. Elektrivõrguga liitunud väiketootjate nimekiri on leitav Elektrilevi veebilehelt [15]. Väljamakstud toetuste andmed on leitavad Elering AS veebiaadressil [16]. Vaatlusandmete alusel on toetusega tootjaid perioodil 2009 kuni 2020 olnud vahemikus 10 - 13 juriidilist isikut. Juuresolevas töös on tõhusa koostootmise toetuse osa marginaalne, kuna maagaasil mootori töörežiim dimensioneeritakse ainult omatarbe katmiseks hoones. Toodangu ülejääki, mida avalikku elektrivõrku anda ja selle eest toetust taotleda, ei teki.

### 3.7. Taastuvenergia toetus

Taastuvenergia toetuse määr on 5,37 senti/kWh elektri eest. Toetusalune summa arvutatakse saldeeritud tunniandmete alusel. Taastusenergia toetust saavad kütusevabad energijaamad: elektrituulikud, hüdroelektrijaamad, päikeseelektrijaamad ja biogaasi või biomassi (puiduhake) kasutavad energiatootjad. Elektrivõrguga liitunud taastuvenergia tootjate nimekiri on leitav Elektrilevi veebilehelt [15]. Väljamakstud toetuste andmed on leitavad Elering AS veebiaadressil [16]. Vaatlusandmete alusel oli taastuvenergia toetusega tootjaid märts 2020.a seisuga ligikaudu 1040 era- või juriidilist isikut. Juuresolevas töös on taastuvenergia toetuse osa marginaalne, kuna päikeseelektrijaam dimensioneeritakse peamiselt omatarbe katmiseks hoones. Toodangu ülejääki, mida avalikku elektrivõrku anda ja selle eest toetust taotleda, ei teki.

## 4. HOONE ENERGI AVARUSTUSE LAHENDAMINE

### 4.1. Seadmete valik ja tooteinfo

#### 4.1.1. Gaasikatel

Selliste tootmiseseadmete võimsusvahemik on 6 kW kuni 2 MW. Tootmiseseade koosneb gaasikatlast ja põletist. Soojust ammutatakse maagaasist. Kütteseadmes on soojuskandja väljavoolu temperatuur 85°C, tagasivoolu temperatuur 60°C. Saab kasutada nii radiaator- kui ka vesipõrandakütte süsteemi puhul. Seadme üldine kasutegur 97%. Varustuskindlus on kõrge, kui maagaas võetakse gaasivõrgust. Laialt levinud nii üksikelanute, kui ka suuremate hoone komplekside soojusega varustamiseks. Tuntumad seadmete kaubamärgid: Buderus, Junkers, Viessmann, Dietrich. Töö autorile teadaolevad kasutusobjektid Eestis: Taltech õppekompleks Tallinnas; Sillaotsa koolimaja Haaslaval; Roiu korterelamud jpt.

Juuresolevas töös loetakse hoone energiavarustuse jaoks sobivaks seadmeks: DeDietrich DTG13-65 terasest küttekatel koos põletiga, nimivõimsusega 65 kW Joonis X. See seade katab hoone küttevajaduse baas- ja tipukoormusel. Energiasüsteemi lisatakse akumulatsioonipaak mahutavusega 1000 liitrit. Seadmete investeeringu maksumuseks koos paigaldusega loetakse 100 eurot/kW.



#### 9.4 Vajaliku võimsuse kohandamine

Põleti väljundi seadistamine

Võimsus (kW-des) (Hi / Hs)						Kontrollväärtus (%)
DTG130-35	DTG130-35	DTG130-45	DTG130-65	DTG130-90	DTG130-115	
33.5 / 37.2	33.5 / 37.2	41.2 / 45.7	62.0 / 68.8	86.0 / 95.5	110.2 / 122.3	100
30.8 / 34.2	30.8 / 34.2	37.9 / 42.1	57 / 63.3	79.1 / 87.8	102.1 / 113.3	90
28.1 / 31.2	28.1 / 31.2	34.6 / 38.4	52 / 57.7	72.2 / 80.1	93.2 / 103.5	80
26.8 / 29.7	26.8 / 29.7	33 / 36.6	49.6 / 55.1	68.8 / 76.4	88.8 / 98.6	75
25.5 / 28.3	25.5 / 28.3	31.3 / 34.7	47.1 / 52.3	65.4 / 72.6	84.4 / 93.7	70
22.8 / 25.3	22.8 / 25.3	28 / 31.1	42.2 / 46.8	58.5 / 64.9	75.5 / 83.8	60
20.1 / 22.3	20.1 / 22.3	24.7 / 27.4	37.2 / 41.3	51.6 / 57.3	66.6 / 73.9	50
17.4 / 19.3	17.4 / 19.3	21.4 / 23.8	32.2 / 35.7	44.7 / 49.6	57.7 / 64.0	40
14.7 / 16.3	14.7 / 16.3	18.1 / 20.1	27.3 / 30.3	37.8 / 42.0	48.8 / 54.2	30

Katla väljundi protsendi määramiseks saate maksimaalse koormuse kohandamise kütterežiimis. Kuuma vee režiimis on põleti tehases eelseadistatud maksimaalsele koormusele.

Vt peatükki Juhtpaneel Seadistaja seaded, #PIIR.  
TEMP., MAX.R.HEAT(%)

#### 9.5 Katla programmeerimine

Seadke integreeritud juhtimine vastavalt vastavale kasutusjuhendile.

Joonis 4.1. Maagaasi katelseade 65kW

Allikas: <http://www.hilaris.ee/wp-content/uploads/2017/04/Elidens-DTG-130-45-115-Kasutaja-juhend.pdf>



#### 4.1.2. Maasoojuspump

Selliste tootmiseseadmete võimsusvahemik on 6 kW kuni 100 kW. Saab paigaldada eraldi või kaskaadi. Seadmed põhinevad elektritoitel ja kompressortehnoloogial. Soojust ammutatakse maapinnast horisontaal kollektoritega, väikse krundi puhul spiraalkollektoritega. Hoone kütmiseks kasutatakse madalatemperatuurilist küttevett, seega sobib pigem pörandakütte lahenduseks. Kütteseadmes on soojuskandja väljavoolu temperatuur 40°C, tagasivoolu temperatuur 33°C.

Soojustegur on siis vahemikus COP 3,5 kuni 4,4. Varustuskindlus on kõrge, kui elektriühendused on piisava läbilaskevõimega. Levinud laialdaselt põhjamaades. Peamiselt kasutatakse üksikelamute puhul, kuid tihti ka maapiirkondades paiknevate mõisa- ja ühiskondlike hoonete puhul. Tuntumad seadmete kaubamärgid: Nibe, Thermia, Gapsal, Valliant jms. Töö autorile teadaolevad kasutusobjektid Eestis: ühendministeeriumi hoone Tallinnas; Kaarepere keskasula lasteaed ja korterelamud; Palamuse keskasula korterelamud, Kastre hooldekodu.

Juuresolevas töös loetakse hoone energiaravustuse jaoks sobivaks seadmeks soojuspump Gapsal IKS60T, soojusteguriga COP 4,4 ja nimivõimsusega 60 kW Joonis X. Energiasüsteemi lisatakse akumulatsioonipaak mahuga 3000 liitrit. Seadmete investeringu kogumaksumuseks koos maakütte spiraalkollektori paigaldusega loetakse 885 eur/kW.



Joonis 4.2. Maasoojuspump 60 kW  
Allikas: <https://www.gapsal.eu/tooted>

Gapsal IKS T	IKS 40 T	IKS60T
Külmaaine tüüp	R410A	R410A
Külmaaine kogus	4,8 kg	5,4 kg
Katsetusrõhk	4,5 MPa	4,5 MPa
Töörõhk	4,3 MPa	4,3 MPa
Kompressori tüüp	Scroll inverter	Scroll inverter
Elektriühendus	3x400 V	3x400 V
Tarbitav el.võimsus 0/35C 30%	2,73 kW	3,12 kW
Tarbitav el.võimsus 5/35C 30%	2,91 kW	3,33 kW
Tarbitav el. võimsus 0/35C50%	5,36 kW	6,0 kW
Tarbitav el.võimsus 5/35C 50%	5,41 kW	6,2 kW
Tarbitav el võimsus 0/35C 80%	8,9 kW	10,2 kW
Tarbitav el.võimsus 5/35C 80%	9,2 kW	10,53 kW
Küttevõimsus 0/35C 30%	12,77 kW	19,0 kW
Küttevõimsus 5/35C 30%	14,64 kW	21,77 kW
Küttevõimsus 0/35C 50%	18,5 kW	27,5 kW
Küttevõimsus 5/35C 50%	21,6 kW	32,2 kW
Küttevõimsus 0/35C 80%	30,0 kW	44,6 kW
Küttevõimsus 5/35C 80%	35,2 kW	52,1 kW
Effektiivsus 0/35C 30% (COP)	5,85	6,1
Effektiivsus 5/35C 30% (COP)	6,31	6,4
Effektiivsus 0/35C 50% (COP)	4,3	4,5
Effektiivsus 5/35C 50% (COP)	5,0	5,2
Effektiivsus 0/35C 80% (COP)	4,4	4,45
Effektiivsus 5/35C 80% (COP)	4,96	5,0
Soojusüürivedelik	Etanool / etüleenglükool 30%	Etanool / etüleenglükool 30%
Madalsurvekaitse	0,35 MPa	0,35 MPa
Kõrgsurvekaitse	4,3 MPa	4,3 MPa
Kaal	235 kg	260 kg

### 4.1.3 Soojuse- ja elektri koostootmiseseade (edaspidi SEKmootor)

Selliste tootmiseseadmete võimsusvahemik on 30 kW kuni 2 MW. Sisult on tegemist sise põlemismootoriga, mille otsa on lisatud elektrigeneraator. Mootor kasutab gaaskütuseid: vedelgaas, surugaas ja biogaas. Seadme üldine kasutegur on 0,90-0,96%. Mootori töörežiimil saadakse soojusenergiat (osakaal umb. 55-70%) ja elektrienergiat (osakaal umb. 30-45%). Tehnoloogia eelis on, et kahe energialiigi koostootmisel hoitakse kokku primaarkütust väljundenergia ühiku kohta. Maailmas on need enam levinud Jaapanis, kus pärast Fukushima tuumaõnnetust eksisteerib nõudlus lokaalse energiatootmise järgi. SEKmootoreid kasutatakse ka Euroopas, maapiirkondades paiknevate suuremate komplekside: koolimajad, hotellid ja veeparkid energiavarustuseks. Tuntumad seadmete kaubamärgid: XRGI, Tedom, Sokratherm, Jenbacher. Töö autorile teadaolevad kasutuobjektid Eestis: Esro Elekter OÜ kaugkütte energiavarustus Viljandis ja haiglakompleksi energiavarustus Tallinnas; Grüne Fee Eesti AS kasvuhooned Tartus; Adven Eesti OÜ kaugkütte energiavarustus Tallinnas; Eesti Gaas büroohoone, WTC ärihoone ja Sõpruse Ärimaja Tallinnas; Kristiine Kaubanduskeskuse energiavarustus Tallinnas (tänapäevaks suletud).

Juuresolevas töös loetakse hoone energiavarustuse tarbeks sobivaks seadmeks XRGI 20 (Joonis X), elektrilise nimivõimsusega 20 kW ja soojusliku nimivõimsusega 38 kW. Eelistatakse üksnes maagaasil töötavat varianti, kuna gaaskütuse varustuskindlus läbi maagaasivõrgu on pidevalt tagatud. See seade katab hoone küttevajaduse ainult baaskoormusel. Energiasüsteemi lisatakse suurem akumulatsioonipaak mahutavusega 5000 liitrit, et küttevee soojendamist ja tarbimist ööpäevas nihutada. Seadmete investeringu kogumaksumuseks koos paigaldusega loetakse 1460 eur/kW. Tipukoormuse jaoks ja avariireservina on gaasikatel koos põletiga Vitogas 200-F koos põletiga, nimivõimsusega 40 kW. Investeringumaksumus koos paigaldusega 100 eur/kW.



**XRGI® 20**

**The power pack: XRGI® 20**

Efficiency under full load without condensing technology <sup>1</sup>	
Electrical output, modulating* [kW]	20.0
Thermal output, modulating* [kW]	38.7
Electrical efficiency (in accordance with LCV <sup>4</sup> )	32.7 %
Thermal efficiency (in accordance with LCV <sup>4</sup> )	63.4 %
Total efficiency (in accordance with LCV <sup>4</sup> )	96.1 %
Efficiency under full load with condensing technology <sup>1</sup>	
Electrical output, modulating* [kW]	20.0
Thermal output, modulating* [kW]	44.7
Electrical efficiency (in accordance with LCV <sup>4</sup> )	32.7 %
Thermal efficiency (in accordance with LCV <sup>4</sup> )	73.2 %
Total efficiency (in accordance with LCV <sup>4</sup> )	105.9 %
General data without condensing technology <sup>1</sup>	
Flow temperature (constant) [°C]	~ 85
Return temperature (variable) [°C]	5-75
Sound pressure level (based on surroundings)[dB(A)]	49
Fuels gas (all qualities), propane, butane	yes
Emissions (test data at full load)	
CO - 50 [mg/Nm <sup>3</sup> ]	CO: 15
NOx_pond, HCV <sup>2,4</sup> < 240 [mg/kWh]	NOx: 19
Dimensions, W x H x D [cm]	75 x 117 x 112
Footprint [m <sup>2</sup> ]	0.84
Weight [kg]	680
Service interval (operating hours) [hours]	6,000

Joonis 4.3. Maagaasi SEKmootor Allikas: <https://www.ecpower.eu/en/technical-data.html>

#### 4.1.4. Päikeseelektrijaam (edaspidi PV-jaam)

PV-jaam koosneb päikesepaneelidest, paigalduskonstruktsioonist ja inverterist. Päikesepaneeli võimsus on tavaliselt 250-300 kW. Eksisteerivad maa- katuse- või fassaadi paigaldised. Katusepaigaldiste puhul valitakse päikesepaneelide arv ja inverteri nimivõimsus hoone tarbimiskoormuse järgi, kui ei soovita toetuse abil võrku toota. Ideaaltingimustesse paigaldatud PV-jaama aastane tootmise kasutegur on 11-12%. Maksimaalne lubatud hetkvõimsus oleneb hoone peakaitse läbilaskevõimest amprites. Energiatootmine ei ole ajas juhitav ja oleneb ilmastikust. Arvutustes loetakse seadmete kulumiseks 1% aastas, seega 20 aastaga väheneb toodang 20% sama võimsusühiku kohta. Sellised tootmisseedmed on laialdaselt levinud üle maailma. PV-jaama majanduslik tasuvus on parem hoonete puhul, kus tarbimise hetkkoormus on kõrge momendil kui päike paistab. Seega sobib tehnoloogia eelkõige basseinidega veekeskustele, jahutusseadmetega büroo- ja hotellihoonetele, külmutusseadmetega külmladudele ja toidupoodidele. Tuntumad seadmete kaubamärgid: PV-paneelid Naps Solar Eesti, SolarEst, Winaico, ZnShine, Bisol jpt. Eestis võrguühendusse lubatud inverteerite nimekiri on esitatud Elektrilevi OÜ veebilehel. Töö autorile teadaolevad kasutusobjektid Eestis, kus PV-jaam on rajatud kaubandushoone katusepaigaldisena: Tasku kaubanduskeskus, Jaamamõisa Selver, Vitamiini Selver, Ringtee Selver Tartus; Ringtee COOP Põlvas; Ahja COOP jpt.

Juuresolevas töös loetakse hoone energiavarustuse jaoks sobivaks seadmeks: polükristallised PV-paneelid nimivõimsusega 250kW. Hoone peakaitse suurus on 3\*250A, seega on võimalik maksimaalselt paigaldada koguvõimsust ligikaudu 160 kW. Lähtudes elektritarvitite baaskoormusest hoones loetakse sobivaks paigaldada PV-paneelid 220\*250W, koguvõimsusega 55kW. Maksimaalne hetk väljundvõimsus oleks umb 91% nimivõimsusest. PV-paneelid ühendatakse kahe ahelana. Tootmisseedmeks valitakse inverter Huawei 2\*30kW. Seadme investeeringu kogumaksumuseks koos paigaldusega loetakse 800 eur/kW.

SUN2000-60KTL-M0  
Smart String Inverter



Technical Specification	SUN2000-60KTL-M0
<b>Efficiency</b>	
Max. efficiency	98.9% @480 V; 98.7% @380 V / 400 V
European efficiency	98.7% @480 V; 98.5% @380 V / 400 V
<b>Input</b>	
Max. Input Voltage <sup>1</sup>	1,100 V
Max. Current per MPPT	21 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	30 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range <sup>2</sup>	200 V - 1,000 V
Rated Input Voltage	600 V @380 Vac / 400 Vac; 720 V @480 Vac
Number of MPPT trackers	6
Max. number of inputs	12
<b>Output</b>	
Rated AC Active Power	60,000 W
Max. AC Apparent Power	66,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	66,000 W
Rated Output Voltage	220 V / 380 V, 230 V / 400 V, default 3W + N + PE; 3W + PE optional in settings; 277 V / 480 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	91.2 A @380 V, 86.7 A @400 V, 72.2 A @480 V
Max. Output Current	100 A @380 V, 95.3 A @400 V, 79.4 A @480 V
Adjustable Power Factor Range	0.8 leading... 0.8 lagging
Max. Total Harmonic Distortion	<3%

Joonis 4.4. PV-jaama tootmisseede inverter 60kW Allikas: <https://solar.huawei.com/eu/Products/FusionSolar>

## 4.2. Energiatootmise modelleerimine

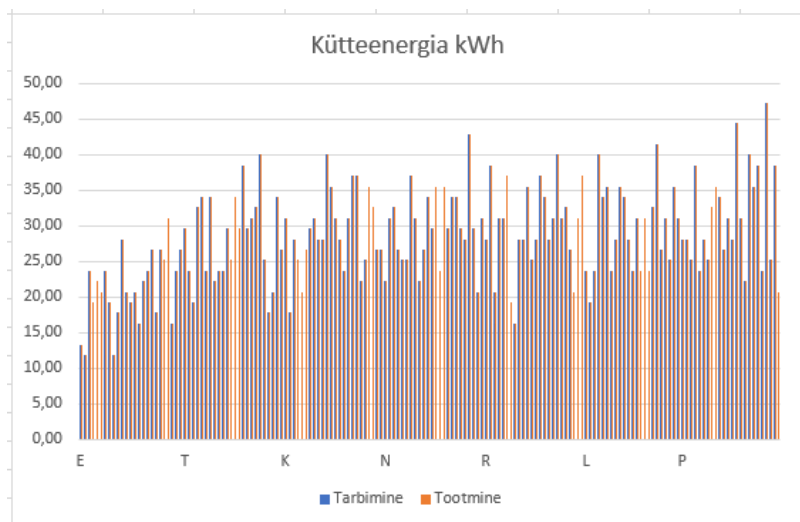
### 4.2.1. Soojusenergia tootmine

4.2.1.1. Kaugküte. Soojusenergia võetakse kaugküttetorustikust, milleks on hoonesse paigaldatud soojasõlm. Soojusenergia saadakse välisvõrgust ja antakse edasi hoone sisesüsteemi läbi soojusvaheti, mida juhib termostaat. Kütteperiood 20.september kuni 17.mai, kokku 5780 tundi aastas. Seadme kasutusiga 20 aastat.

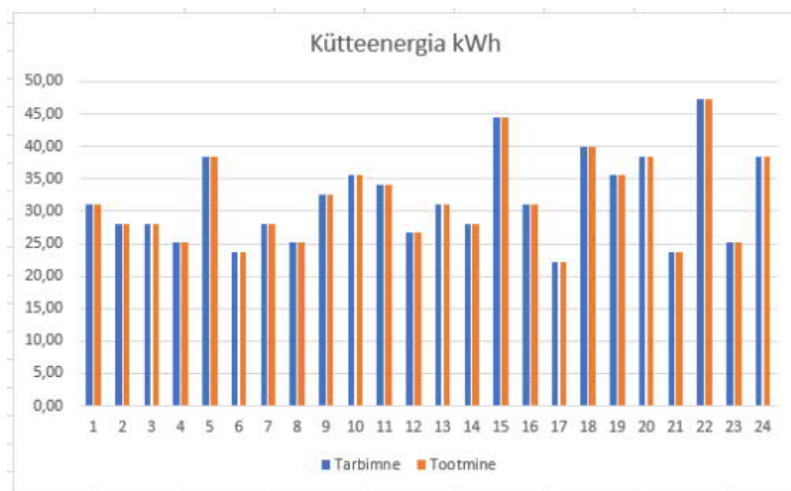
4.2.1.2. Gaasikatel. Soojusenergia toodetakse maagaasist gaasikatla ja põleti abil. Valitud võimsus 60 kW. Maagaas saadakse maagaasivõrgust, energiasisaldus 9,3kWh/Nm<sup>3</sup>. Ohutuse seisukohast on oluline välisohu juurdepääs, sest kütuse täielik põlemine vajab õhku vahekorras 1/10. Tootmine pidev akumulatsioonipaaki vastavalt hoone küttekoormusele. Katab nii baas- ja tipukoormuse. Tootmiseseadme kasutegur 97%. Kütteperiood 20.sept- 17.mai, kokku 5780 tundi aastas. Seadme kasutusiga 20 aastat.

4.2.1.3 Maasoojuspump (edaspidi MSP). Soojusenergia toodetakse maasoojusest elektritoitel kompressori abil. Valitud võimsus 60 kW, soojustegur COP 4,4. Maasoojus ammutatakse väliskollektri abil maapinnast, umb 1.50 m sügavuselt, kus püsib aastaringselt temperatuur +8°C. Tootmine pidev akumulatsioonipaaki vastavalt hoone küttekoormusele. Tarbevee tootmist ei kavandata, kuna see viiks alla seadme üldise soojusteguri. Kütteperiood 20.sept kuni 17.mai, kokku 5780 tundi aastas. Seadme kasutusiga 20 aastat.

Soojuse tunnitarbimise andmete ja tootmiseseadme tehniliste parameetrite alusel koostati arvutiprogrammis MS Excel 3 soojatootmise mudelit. Tarbimise ja tootmise iseloomustamiseks on tööse lisatud väjavõtted mudelist küttenenergia tootmise nädala- ja ööpäeva profiil Joonis 4.5., Joonis 4.6.



Joonis 4.5. Gaasikatel 65kW või MSP 60kW kütteenergia tootmise nädalaprofiil 06.veebruar-12.veebruar

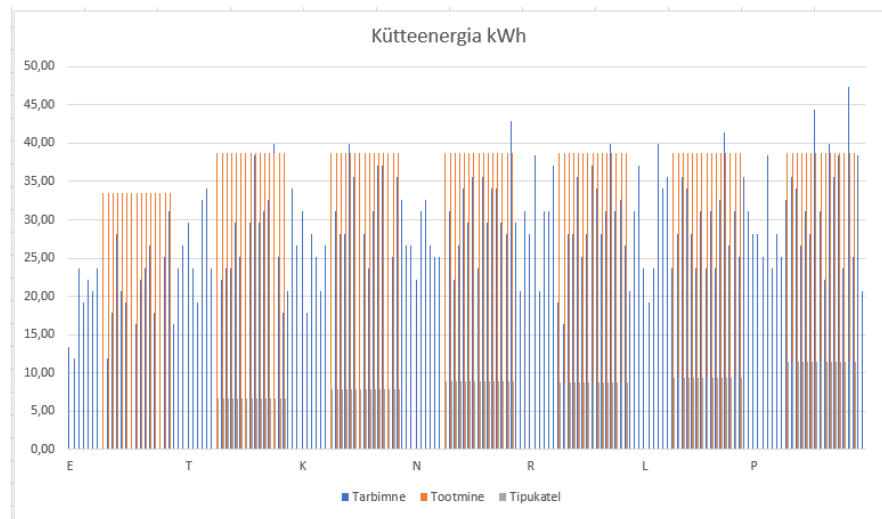


Joonis 4.6. Gaasikatel 65kW või MSP 60kW kütteenergia tootmise ööpäevane profiil 12.veebruar

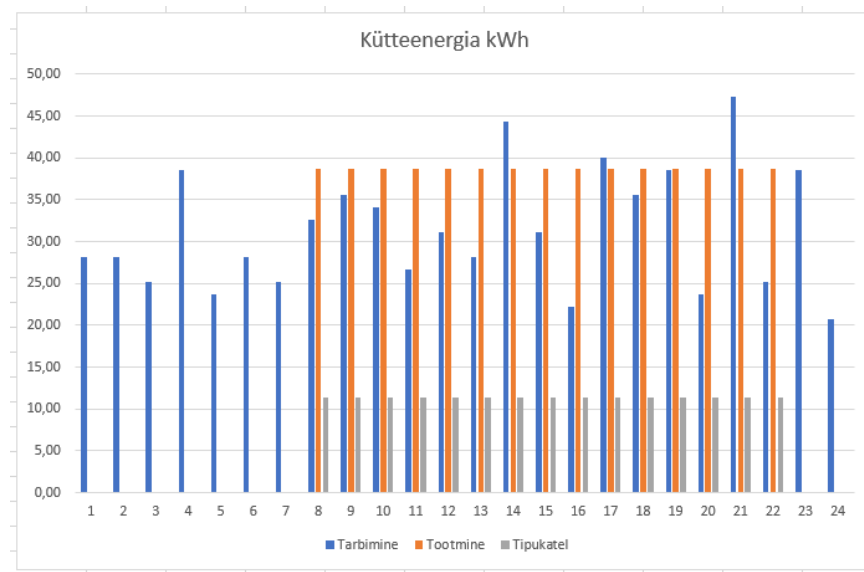
4.2.1.4. Soojuse- ja elektri koostootmiseseade (edaspidi SEKmootor). Soojusenergia toodetakse maagaasist sisepõlemismootori abil. Valitud soojuslik võimsus 38,7 kW. Seadme kogukasutegur 96%, sellest soojuslik kasutegur 64%. Maagaas saadakse maagaasivõrgust. Tootmine akumulatsioonipaaki toimub tsükliliselt. Soojavaru toodetakse akumulatsioonipaaki soojematel küttekudel 12 tunniga ööpäevas ja külmematel küttekudel 15 tunniga. Seadme töötab üksnes päeval ajal neil tundidel, kui elektribörsi tunnihind on kõige kõrgem. Akumuleeritud soojavaru jaotatakse küttesüsteemi 24 tunni jooksul. Seega saab tootmist tarbimise suhtes ööpäevas nihutada. Ruum vajab müraislatsiooni. Katab hoone kütte baaskoormuse. Kütteperiood 20.sept kuni 17.mai. Kuna töötab kütteperioodil

tsükliliselt, siis töötundide arv aastas on ligikaudu 3120 tundi. Seadme kasutamisega on 60 000 töötundi, vastavalt TTÜs koostatud uuringule [17], seega 20 aastat.

Tipukoormuse ja avariireservina kasutatakse gaasikatelseadet võimsusega 40kW, kasutegur 97%. Soojuse tunnitarbimise andmete ja tootmiseseadme tehniliste parameetrite alusel koostati arvutiprogrammis MS Excel soojatootmise mudel. Tarbimise ja tootmise iseloomustamiseks on tööle lisatud väjavõtted mudelist kütteenergia tootmise nädala- ja ööpäeva profiil Joonis 4.7., Joonis 4.8.



Joonis 4.7. SEKmootor 38kW ja tipukatel 40kW kütteenergia tootmise nädalaprofiil 06.veebruar-12.veebruar

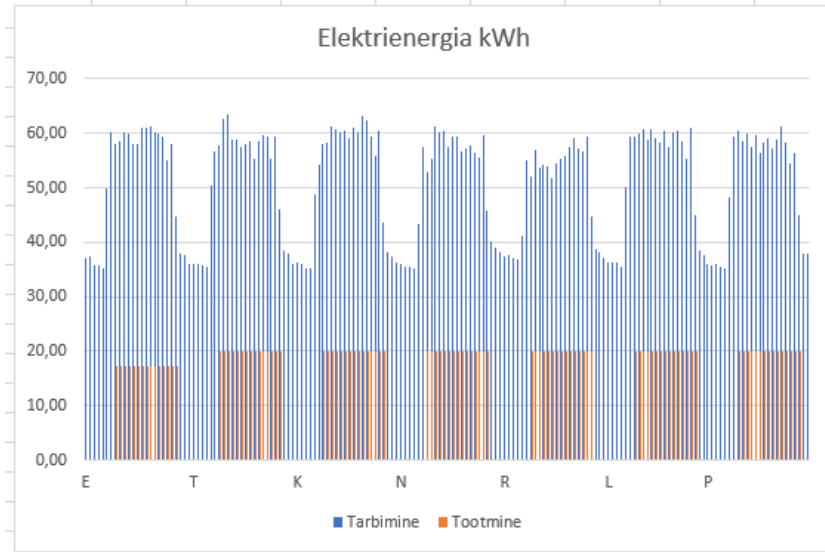


Joonis 4.8. SEKmootor 38kW ja tipukatel 40kW kütteenergia tootmise ööpäevane profiil 12.veebruar

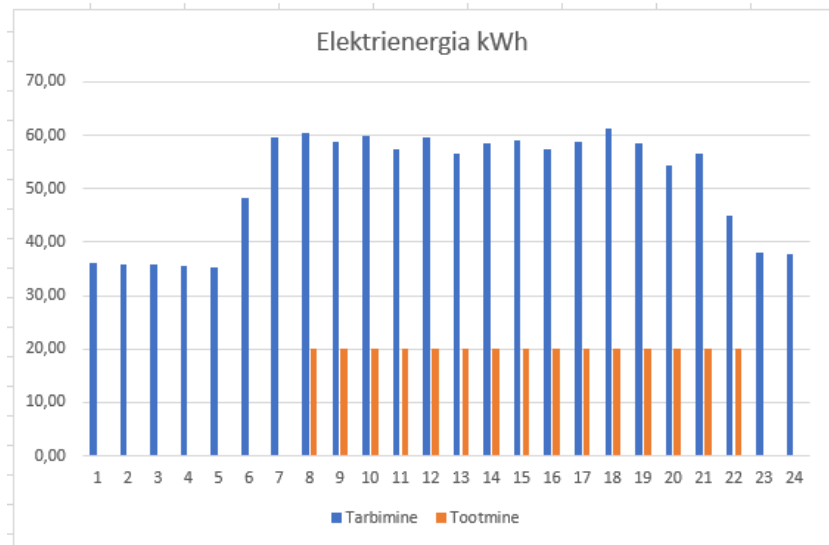
## 4.2.2. Elektrienergia tootmine

4.2.2.1. Soojuse- ja elektri koostootmiseseade (edaspidi SEKmootor). Elektrienergia toodetakse maagaasist sise põlemismootori abil, soojatootmise kõrvalsaadusena. Valitud elektriline võimsus on 20 kW. Seadme kogukasutegur 96%, sellest elektriline kasutegur 32%. Maagaas saadakse maagaasivõrgust. Vastavalt soojatootmise graafikule on seade töös soojematel küttekuudel 12 tundi ööpäevas ja külmematel küttekuudel 15 tundi, nendel tundidel kui elektri tunnihind on kõige kõrgem. Seade töötab koormusel 0-100%. Mida suurem on töökoormus, seda nimivõimsuse lähedasem on elektritootmise osakaal töösükklis. Ruum vajab müraislatsiooni. Kütteperiood 20.september kuni 15.mai. Töötundide arv aastas kokku ligikaudu 3170 tundi. Seadme kasutusiga on 60 000 töötundi, vastavalt TTÜs koostatud uuringule [X], seega 20 aastat.

Elektri tunnitarbimise andmete ja tootmiseseadme tehniliste parameetrite alusel koostati arvutiprogrammis MS Excel elektritootmise mudel. Tarbimise ja tootmise iseloomustamiseks on tööse lisatud väljavõtted mudelist elektrienergia tootmise nädala- ja ööpäeva profiil Joonis 4.9., Joonis 4.10.



Joonis 4.9. SEK mootori 20kW elektrienergia tootmise nädalaprofiil 16.veebruar-12.veebruar

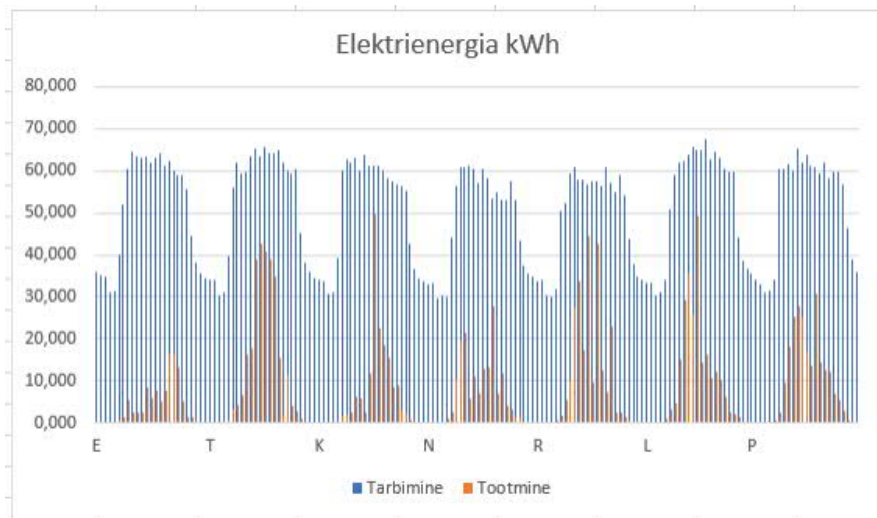


Joonis 4.10. SEKmootori elektrienergia tootmise ööpäevane profiil 12.veebruar

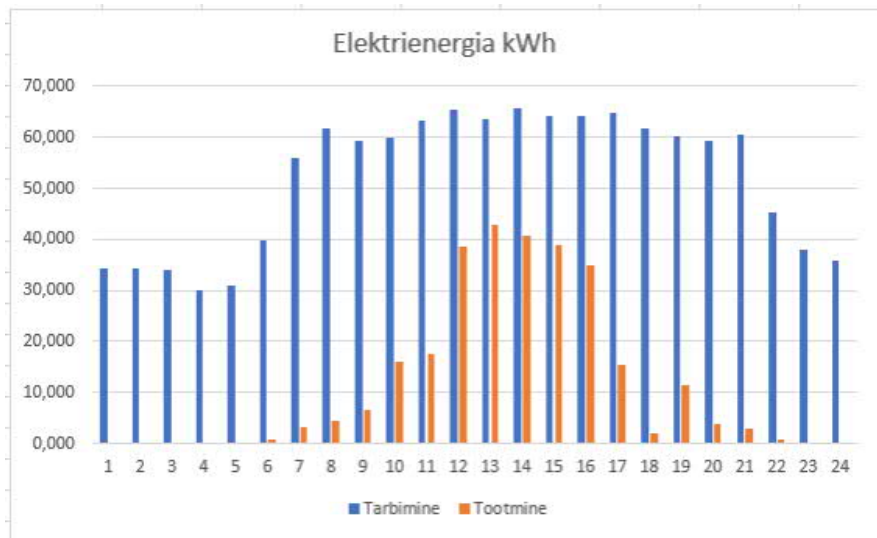
4.2.2.2. Päikeseelektrijaam (edaspidi PV-jaam). Elektrienergiat toodetakse otsest päikesekiirgusest ja hajusvalgusest. Seega sõltub toodang PV-paneelide paigaldusviisist ja ilmastikust. Parim paigaldusviis on lagedal paikneva hoone lamekatus, PV-paneelid on orienteeritud lõunasse ja kaldenurk maapinna suhtes umb. 43 kraadi. Valitud elektriline võimsus 50kW, see võimaldab tootmiseseadmeid elektrivõrguga ühendada lihtsustatud korras mikrotootjana. Tootmine ei ole juhtitav, seade töötab võimsusel 0-100% nimivõimsusest olenevalt ilmastikust. Tootmine toimub põhimahus märtsist-oktoobrini. Kaubandushoones tekib tarbimise tipp just suvepäevadel kõige soojemate ilmadega, kui toidu säilitamiseks vajavad külmutusseadmed kõige enam energiat. PV-jaama toodetud energiakogus on neil tundidel kõige suurem ja võrguelektrihind päeval kõrge, seega on lokaalne tootmine otstarbekas. PV-jaama kasutusiga on 20 aastat.

Elektri tunnitarbimise andmete ja tootmiseseadme tehniliste parameetrite alusel koostati arvutiprogrammis MS Excel elektritootmise mudel. Tarbimise ja tootmise iseloomustamiseks on tööse lisatud väljavõtted mudelist elektrienergia tootmise nädala- ja ööpäeva profiil Joonis 4.11., Joonis 4.12..



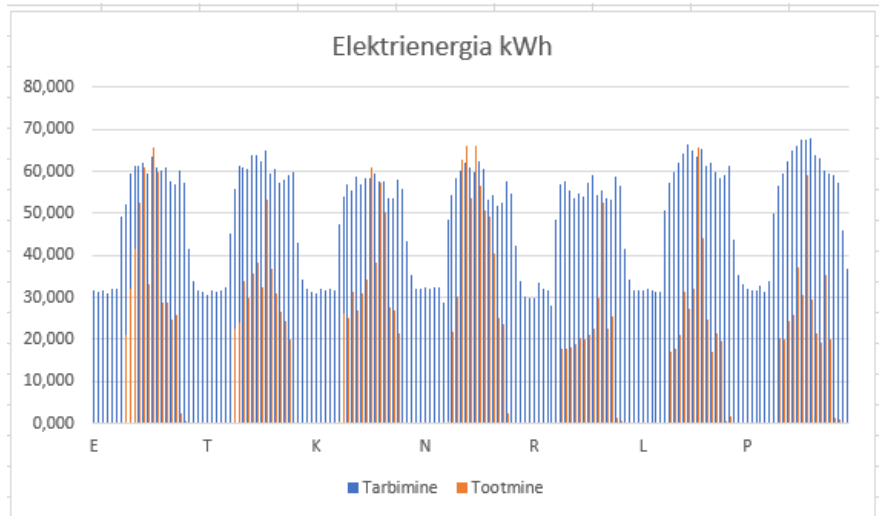


Joonis 4.11. PV-jaam 50kW elektrienergia tootmise nädalaprofiil 03.juuli- 10.juuli

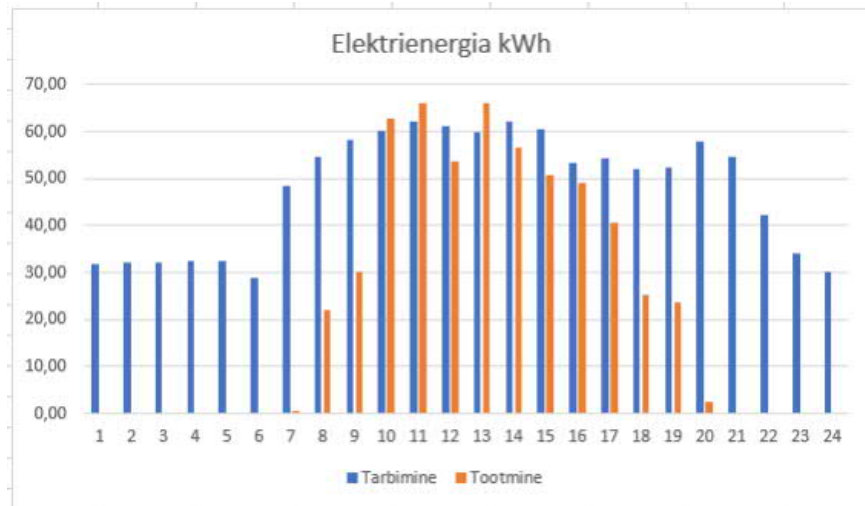


Joonis 4.12. PVjaam 50kW elektrienergia tootmise ööpäevane profiil 04.juuli

Elektri tunnitarbimise andmete ja tootmiseseadme tehniliste parameetrite alusel koostati arvutiprogrammis MS Excel elektritootmise mudel. Tarbimise ja tootmise iseloomustamiseks olukorras, kui toodavad SEKmootor ja PVjaam korraga on tööse lisatud väljavõtted mudelist elektrienergia tootmise nädala- ja ööpäeva profiil Joonis 4.13 ja Joonis 4.14.



Joonis 4.13. SEKmootor 20kW ja PVjaam 50kW elektrienergia tootmise Nädalaprofiil, parim hetk 17.aprill-23.aprill



Joonis 4.14. SEKmootor 20kW ja PVjaam 50kW elektrienergia tootmise ööpäevane profiil, parim hetk 20.aprill

## 5. TASUVUSANALÜÜS

### 5.1. Omatoodangu maksumus

Eesmärgiks on alternatiivide võrdlemise abil selgitada välja kõige kulutõhusam energiatootmise viis kaubandushoone omaniku jaoks. Kasutatakse töö varasemates peatükkides leitud sisendandmeid. Seadme ja sisendenergia hinnad on käibemaksuta, kuna ettevõtja ei ole lõpptarbija.

Tasuvusanalüüsi käigus määrati omatoodangu kohta:

- Aasta püsikulud = (alginvesteering+hooldusremont)/seadme kasutusiga Tabel 5.1
- Aasta muutuvkulud = sisendenergia kogus \* turuhind Tabel 5.2  
Sisendenergia kogused võeti MS Exceliga koostatud tootmismudelitest, vt pt 4.2.
- Lihttasuvusaeg = seadme investeering / rahaline sääst aastas Tabel 5.3.
- Energiaühiku omahind = (püsikulu + muutuvkulu) / aastatoodang Tabel 5.4.

Tabel 5.1. Püsikulud

Püsikulud	arvestusperiood 20 aastat							
	Seade_kütteevee temp	Nimivõimsus el/th kW	Seadme kasutegur	Väljundvõimsus temp -20C_kW	Seadme hind eur_20a	Akum.paak eur_20a	Invest_kokku eur_20a	Hooldusremont eur_20a
Kaugküte_85/60C	0/65	1,00	65,0	0	0	0	1000	50
Maagaasikatel_85/60C	0/65	0,97	63,0	4650	1500	6150	1200	368
Maasoojuspump_40/33C	0/60	4,40	52,1	51000	2020	53020	2000	2751
Maagaasi SEKmootor 85/60C	21/40	0,96	20/38,7	28000	2700	30700	7604	1915
Maagaasi tipukatel_85/60C	0/40	0,97	0/39,0	4150	0	4150	1200	268
PV-jaam	53/0	0,12	...50/0	40000	0	40000	1000	2050

Tabel 5.2. Muutuvkulud

Muutuvkulud energiasisenditele								Kütteeenergia aastavajadus 107,597 MWh
								Elektrienergia aastavajadus 447,700 MWh
Seade	Energiakandja			Seadme kasutegur	Sisendenergia			Muutuvkulu eur/aastas
	liik	en_sisaldus	ühik		kogus	hind	ühik	
Kaugküte_hake	kütteevesi	100,00	MWh/MWh	1,00	107,597	69	eur/MWh	7424
Kaugküte_maagaas	kütteevesi	100,00	MWh/MWh	1,00	107,597	60	eur/MWh	6456
Gaasikatel_külmkuu	maagaas	9,30	MWh/1000Nm3	0,97	7,397	356	eur/1000Nm3	2633
Gaasikatel_soekuu	maagaas	9,30	MWh/1000Nm3	0,97	4,780	319	eur/1000Nm3	1525
Maasoojuspump_päev	elekter	100,00	MWh/MWh	4,40	12,219	104,55	eur/MWh	1324
Maasoojuspump_öö	elekter	100,00	MWh/MWh	4,40	12,234	76,64	eur/MWh	985
SEK mootor_külmkuu	maagaas	9,30	MWh/1000Nm3	0,96	10,724	356	eur/1000Nm3	3818
SEK mootor_soekuu	maagaas	9,30	MWh/1000Nm3	0,96	7,155	319	eur/1000Nm3	2282
Tipukatel_külmkuu	maagaas	9,30	MWh/1000Nm3	0,97	0,276	356	eur/1000Nm3	98
Tipukatel_soekuu	maagaas	9,30	MWh/1000Nm3	0,97	0,012	319	eur/1000Nm3	4
PV-jaam	päikesekiirgus	-	MWh/MWh	0,12	-	0	eur/MWh	0

Tabel 5.3. Seadme investeeringute lihtsuvusaeg

Seade	Investeeringukulu	Muutuvkulu	Sääst	Lihtsuvusaeg
	kokku eurot	eur/aastas	eur/aastas	aastat
Kaugküte_hake	0	7424	0	0
Kaugküte_maagaas	0	6456	968	0,0
Maagaasikatel	6150	4158	3266	1,9
Maasoojuspump	53020	2309	5115	10,4
SEKmootor	30700	6100	8499	3,6
Tipukatel	4150	102	77	53,7
PV-jaam	40000	-	3487	11,5

Tabel 5.4. Energiaühiku omahind hoones

Seade	Tundlikus	Seadmekulu	Sisendenergia	Kogukulu	Toodang_20a	Energia omahind	Pingerida
		eur/aastas	eur/aastas	eur/aastas	MWh/aastas	eur/MWh	
Kaugküte_hake	69eur/MWh	50	7424	7474	107,60	69	9
Kaugküte_maagaas	60eur/MWh	50	6456	6506	107,60	60	8
Maagaasikatel	*keskm_eur/1000Nm3	368	4158	4526	107,60	42	1
Maagaasikatel	*max_eur/1000Nm3	368	5541	5909	107,60	55	6
Maasoojuspump	**keskm_eur/MWh	2751	2309	5060	107,60	47	2
Maasoojuspump**	**max_eur/MWh	2751	2467	5218	107,60	48	3
SEKmootor_sooj	*keskm_eur/1000Nm3	1271	4053	5324	105,32	51	4
SEKmootor_el	*keskm_eur/1000Nm3	643	2047	2690	53,20	51	4
SEKmootor_kokku	*keskm_eur/1000Nm3	1915	6100	8015	158,52	51	4
Maagaasi SEKmootor	*max_eur/1000Nm3	1915	8135	10050	159,64	63	7
Tipukatel_maagaas	*keskm_eur/1000Nm3	268	102	370	2,68	138	10
Tipukatel_maagaas	*max_eur/1000Nm3	268	131	399	2,68	149	11
PV-jaam	eur/MWh	2050	0	2000	37,14	54	5

\*keskm- 10.a keskmine võrgugaasi hind vabatarbijale külmuu 356 eur/1000Nm3, soekuu 319 eur/1000Nm3  
\*\*keskm- 5.a keskmine võrguelektri hind liitumisel üle 63A päev 100,70 eur/MWh, öö 72,80 eur/MWh  
\*max- maksimaalne võrgugaasi hind vabatarbijale 455 eur/1000Nm3, I poolaasta 2013  
\*\*max- maksimaalne võrguelektri hind liitumisel üle 63A päev 113,46 eur/MWh, öö 88,34 eur/MWh, augustis 2018

## 5.2. Energiavarustuse kogumaksumus hoones

Energiasüsteemi toodang koosneb omatoodangust ja võrguenergiast erinevates proportsioonides. Selleks, et määrata energiavarustuse kogumaksumust hoones moodustati 8 erinevat omatootmiseseadmete ja võrguenergia kombinatsiooni ehk energiasüsteemi.

Hoone energiasüsteemid on:

VARIANT 1: soojusenergia kaugküte (hake); elektrienergia võrguelekter;

VARIANT 2: soojusenergia kaugküte (hake); elektrienergia võrguelekter + PVjaam;

VARIANT 3: soojusenergia maagaasikatel; elektrienergia võrguelekter;

VARIANT 4: soojusenergia maagaasikatel; elektrienergia võrguelekter + PVjaam;

VARIANT 5: soojusenergia maasoojuspump; elektrienergia võrguelekter;

VARIANT 6: soojusenergia maasoojuspump; elektrienergia võrguelekter + PVjaam;

VARIANT 7: soojusenergia maagaasi SEKmootor + maagaasi tipukatel; elektrienergia võrguelekter + maagaasi SEKmootor;

VARIANT 8: soojusenergia maagaasi SEKmootor + maagaasi tipukatel; elektrienergia võrguelekter + maagaasi SEKmootor + PVjaam.

Iga energiasüsteemi variandi kohta arvutatakse energiavarustuse aastamaksumus hoones. Finantsinstrumente NPV ja IRR ei kasutata, kuna eeldatakse, et investeeringukulu tehakse omavahenditest ja ärikasum teenitakse ruumide välja üürimisest. Kogukulu jagatakse ruutmeetri põhiselt kuukuluks kommunaalarvel. Lisatakse käibemaks, kuna ruumide kasutaja on lõpptarbija. Arvutuskäik järgneb. Arvutustulemused iga energiaüsteemi variandi kohta eraldi on esitatud Tabel 5.5. Omatoodangu ja võrguenergia maksumuse proportsioonid iga energiasüsteemi kohta on esitatud tulpdigrammina Joonis 5.1.

Arvutuskäik:

Omatoodangu maksumus

omatoodangu kogus \* energiaühiku omahind hoones  
(sisaldab seadmete amortisatsiooni)

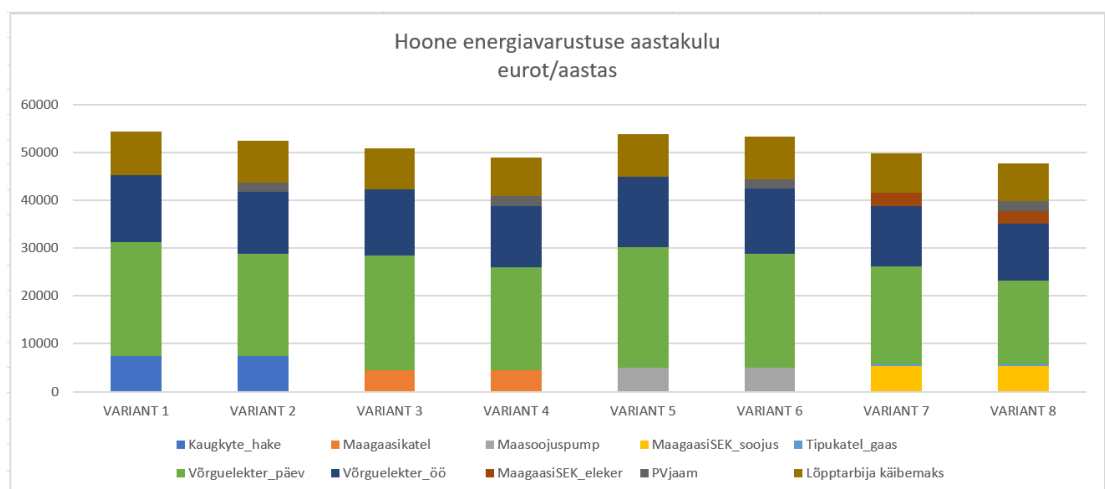
Võrguenergia maksumus

võrguenergia kogus \* (energiaühiku turuhind + võrgutariif)  
(ei sisalda seadmete amortisatsiooni)

Energiavarustuse maksumus hoones

omatoodangu maksumus + võrguenergia maksumus

Energiakogused võeti varem koostatud tootmismudelitest, vt pt. 4.2



Joonis 5.1. Omatoodangu ja võrguenergia maksumuse proportsioonid erinevate energiasüsteemi variantide kohta

Tabel 5.5. Hoone energiaravustuse aastamaksumus

Varustus	Energiasüsteem VARIANT 1	Energiasüsteem VARIANT 2	Energiasüsteem VARIANT 3	Energiasüsteem VARIANT 4	Energiasüsteem VARIANT 5	Energiasüsteem VARIANT 6	Energiasüsteem VARIANT 7	Energiasüsteem VARIANT 8
	eurot	eurot	eurot	eurot	eurot	eurot	eurot	eurot
Kaugkyte_hake	7424	7424	0	0	0	0	0	0
Maagaasikatel	0	0	4519	4519	0	0	0	0
Maasoojuspump	0	0	0	0	4950	4950	0	0
MaagaasiSEK_soojus	0	0	0	0	0	0	5371	5371
Tipukatel_gaas	0	0	0	0	0	0	355	355
Võrguelekter_päev	23877	21404	23877	21404	25224	23819	20401	17482
Võrguelekter_öö	13906	12892	13906	12892	14714	13596	12655	11854
MaagaasiSEK_eleker	0	0	0	0	0	0	2713	2716
PVjaam	0	2006	0	2006	0	2006	0	2006
Lõpptarbija käibemaks	9041	8745	8460	8164	8978	8874	8299	7957
<b>Aastakulu kokku eur</b>	<b>54249</b>	<b>52472</b>	<b>50763</b>	<b>48985</b>	<b>53866</b>	<b>53245</b>	<b>49794</b>	<b>47741</b>
<b>Keskm_kuukulu eur/m2</b>	<b>3,78</b>	<b>3,65</b>	<b>3,53</b>	<b>3,41</b>	<b>3,75</b>	<b>3,71</b>	<b>3,47</b>	<b>3,32</b>
Pingerida	8	6	4	2	6	5	3	1
Rahaline sääst arvel%	0%	4%	6%	10%	1%	2%	8%	12%

Järeldused. Kõigis energiasüsteemides jäävad energiaravustuse kogumaksumused samasse suurusjärku. Majanduslikult veidi soodsamaks osutusid variant 4 ja variant 8, rahaline sääst kommunaalarvel võrreldes kõige kallima variandiga vastavalt 10% ja 12%. Mõlemal juhul on tegemist gaasipaigaldisega, seega maagaasi 10 aasta keskmise turuhinna või aktsiisi tõusu puhul, võib kaduda selle energiaravustuse eelis teiste energiaüsteemide ees. Seega lokaalsete tootmiseseadmete kasutamine hoone energiaravustuses ei vähenda ega suurenda energiaravustuse kogumaksumust ruutmeetri kohta oluliselt. Erand on PV-jaama lisamine energiasüsteemi, kuna see vähendas kõigis variantides energiaravustuse kogumaksumust hoones 2% kuni 4% võrra.

## 6. HOONE ENERGIASÜSTEEMIDE ENERGIATÕHUSUSE VÕRDLEV ANALÜÜS

### 6.1. Hoone energiatõhusus erinevate energiasüsteemide korral

Analüüsis lähtutakse Majandus- ja taristuministri 03.06.2015.a vastu võetud määrusest "Hoone energiatõhuse miinimumnõuded" [5] ja 30.04.2015 vastu võetud määrusest "Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele" [18]. Riiklike määruste eesmärk on muuta hoonete energiatarbe andmed omavahel võrreldavaks samadel alustel.

Hoonetele väljastatakse energiamärgis. Energiamärgis põhineb energiarvutusel või mõõdetud ja hinnatud energiakasutuse andmetel. Kasutatavad mõisted on ETA-energiatõhusarv ja KEK- kaalutud energiaerikasutus. Iga kütus või sisendenergia liik omab kaalumistegurit. Arvväärtused leitakse valemist:

Energiatõhususarv ETA,  $i$  – energiakandja (elekter, kütus, kaugküte) kWh/(m<sup>2</sup> a):

$$ETA = \frac{\sum_i (\text{tarnitud}_i - \text{eksporditud}_i) \times \text{energiakandja kaalumistegur}_i}{\text{kõetav pind}}$$

Riikliku määruse alusel on hetkel kehtivad energiakandjate kaalumistegurid:

- taastuvtoormel põhinev kütus (puit, biokütus va. turvas)-	0,65
- kaugküte	0,9
- tõhus kaugküte	0,65
- vedelkütus, kütteõli ja vedelgaas	1,0
- maagaas	1,0
- tahke fossiilkütus	1,0
- turvas, turbabrikett	1,0
- elekter	2,0

Oluline on silmas pidada, et riikliku määruse järgi ei võeta hoone energiatõhususe tõendamiseks energiaarvutustes arvesse hoonesse paigutatud nõ eriotstarbeliisi seadmeid (väljatõmbekapp, külmkamber, külmlätt, suurtöökõigiseade, lift, välikutteala ja sulatuskaablid jms).

Uusehitised peavad olema ehitustehnilist rajatud sh energiasüsteemidega varustatud nii, et selle energiakasutus hoones vastaks energiatõhususe miinimumnõuetele. Riikliku määruse alusel võib pärast 01.12.2018.a ehitada Eestis ainult sellist kaubandushoonet, mille ETA väärtus on vähemalt 190 kWh/(m<sup>2</sup>\*a). Energiasüsteemide 8 variandi kohta leitakse hoone energiaerikasutuse arvvaartused (edaspidi KEK). KEK väärtuste võrdlus on esitatud Tabel 6.1. kuni Tabel 6.8.

Tabel 6.1. Kaalutud energiaerikasutus arvutus Energiasüsteem VARIANT 1

VARIANT 1. KEK arvutus (kaubandushoone energiakasutus)							Kõetav pind (m <sup>2</sup> ):		1197
Soojusenergia: kaugküte (hake); Elektrienergia: võrk									
ENERGIAKANDJA	TARNITUD		ENERGIA			OSTETUD KÜTUSED	Eksporditud energia kWh/a	Lokaalne TE süsteem	Erikasutus kWh/m <sup>2</sup> *a
	elektre kWh	kaugküte kWh	kaugjahutus kWh	kogus/a	ühik				
kaugküte	0	107511	-	-	-	-	-	-	89,8
võrguelektre (valgustus, tehnika)	83030	-	-	-	-	-	-	-	69,4
võrguelektre (eriotstarbelised lisaseadmed)	364675	-	-	-	-	-	-	-	304,7
							Erikasutus KOKKU:		159,2
							Erikasutus* KOKKU:		463,8
							<b>Kaalutud energiaerikasutus (KEK)</b>		<b>220</b>
							<b>Kaalutud energiaerikasutus (KEK)*</b>		<b>829</b>
*- arvvaartus koos eriotstarbeliste lisaseadmetega: väljatõmbekapp, külmlett, suurkõõgiseade jms.							<b>ETA miinimumnõue</b>		<b>190</b>

Tabel 6.2. Kaalutud energiaerikasutus arvutus Energiasüsteem VARIANT 2

VARIANT 2. KEK arvutus (kaubandushoone energiakasutus)							Kõetav pind (m <sup>2</sup> ):		1197
Soojusenergia: kaugküte (hake); Elektrienergia: võrk ja PV-jaam									
ENERGIAKANDJA	TARNITUD		ENERGIA			OSTETUD KÜTUSED	Eksporditud energia kWh/a	Lokaalne TE süsteem	Erikasutus kWh/m <sup>2</sup> *a
	elektre kWh	kaugküte kWh	kaugjahutus kWh	kogus/a	ühik				
kaugküte	-	107511	-	-	-	-	-	-	89,8
võrguelektre (valgustus, tehnika)	83030	-	-	-	-	37140	PV-jaam	-	38,3
võrguelektre (eriotstarbelised lisaseadmed)	364675	-	-	-	-	-	-	-	304,7
							Erikasutus KOKKU:		128,2
							Erikasutus* KOKKU:		432,8
							<b>Kaalutud energiaerikasutus (KEK)</b>		<b>158</b>
							<b>Kaalutud energiaerikasutus (KEK)*</b>		<b>767</b>
*- arvvaartus koos eriotstarbeliste lisaseadmetega: väljatõmbekapp, külmlett, suurkõõgiseade jms.							<b>ETA miinimumnõue</b>		<b>190</b>

Tabel 6.3. Kaalutud energiaerikasutus arvutus Energiasüsteem VARIANT 3

VARIANT 3. KEK arvutus (kaubandushoone energiakasutus)							Kõetav pind (m <sup>2</sup> ):		1197
Soojusenergia: Maagaasikatel; Elektrienergia: võrk									
ENERGIAKANDJA	TARNITUD		ENERGIA			OSTETUD KÜTUSED	Eksporditud energia kWh/a	Lokaalne TE süsteem	Erikasutus kWh/m <sup>2</sup> *a
	elektre kWh	kaugküte kWh	kaugjahutus kWh	kogus/a	ühik				
maagaas (Katel)	-	-	-	11925	Nm <sup>3</sup>	-	-	-	92,7
võrguelektre (valgustus, tehnika)	83030	-	-	-	-	-	-	-	69,4
võrguelektre (eriotstarbelised lisaseadmed)	364675	-	-	-	-	-	-	-	304,7
							Erikasutus KOKKU:		162,0
							Erikasutus* KOKKU:		466,7
							<b>Kaalutud energiaerikasutus (KEK)</b>		<b>231</b>
							<b>Kaalutud energiaerikasutus (KEK)*</b>		<b>831</b>
*- arvvaartus koos eriotstarbeliste lisaseadmetega: väljatõmbekapp, külmlett, suurkõõgiseade jms.							<b>ETA miinimumnõue</b>		<b>190</b>

Tabel 6.4. Kaalutud energiaerikasutus arvutus Energiasüsteem VARIANT 4

VARIANT 4. KEK arvutus (kaubandushoone energiakasutus)							Kõetav pind (m <sup>2</sup> ):		1197
Soojusenergia: Maagaasikatel; Elektrienergia: võrk+PV									
ENERGIAKANDJA	TARNITUD		ENERGIA			OSTETUD KÜTUSED	Eksporditud energia kWh/a	Lokaalne TE süsteem	Erikasutus kWh/m <sup>2</sup> *a
	elektre kWh	kaugküte kWh	kaugjahutus kWh	kogus/a	ühik				
maagaas (Katel)	-	-	-	11925	Nm <sup>3</sup>	-	-	-	92,7
võrguelektre (valgustus, tehnika)	83030	-	-	-	-	37140	PV-jaam	-	38,3
võrguelektre (eriotstarbelised lisaseadmed)	364675	-	-	-	-	-	-	-	304,7
							Erikasutus KOKKU:		131,0
							Erikasutus* KOKKU:		435,6
							<b>Kaalutud energiaerikasutus (KEK)</b>		<b>169</b>
							<b>Kaalutud energiaerikasutus (KEK)*</b>		<b>769</b>
*- arvvaartus koos eriotstarbeliste lisaseadmetega: väljatõmbekapp, külmlett, suurkõõgiseade jms.							<b>ETA miinimumnõue</b>		<b>190</b>



Tabel 6.5. Kaalutud energiaerikasutus arvutus Energiasüsteem VARIANT 5

VARIANT 5. KEK arvutus (kaubandushoone energiakasutus)							Kõetav pind (m <sup>2</sup> ):		1197
Soojusenergia: Maasoojuspump; Elektrienergia: võrk									
ENERGIAKANDJA	TARNITUD		ENERGIA			OSTETUD KÜTUSED	Eksporditud energia kWh/a	Lokaalne TE süsteem	Erikasutus kWh/m <sup>2</sup> *a
	elektter kWh	kaugküte kWh	kaugjahutus kWh	kogus/a	ühik				
elektter (MSP)	24455	-	-	-	-	-	-	soojuspump	20,4
võrguelektter (valgustus, tehnika)	83030	-	-	-	-	-	-	-	69,4
võrguelektter (eriotstarbelised lisaseadmed)	364675	-	-	-	-	-	-	-	304,7
								Erikasutus KOKKU:	89,8
								Erikasutus* KOKKU:	394,5
								<b>Kaalutud energiaerikasutus (KEK)</b>	<b>180</b>
								Kaalutud energiaerikasutus (KEK)*	789
*- arvvaartus koos eriotstarbeliste lisaseadmetega: väljatõmbekapp, külmlett, suurkõõgiseade jms.								<b>ETA miinimumnõue</b>	<b>190</b>

Tabel 6.6. Kaalutud energiaerikasutus arvutus Energiasüsteem VARIANT 6

VARIANT 6. KEK arvutus (kaubandushoone energiakasutus)							Kõetav pind (m <sup>2</sup> ):		1197
Soojusenergia: Maasoojuspump; Elektrienergia: võrk+PV									
ENERGIAKANDJA	TARNITUD		ENERGIA			OSTETUD KÜTUSED	Eksporditud energia kWh/a	Lokaalne TE süsteem	Erikasutus kWh/m <sup>2</sup> *a
	elektter kWh	kaugküte kWh	kaugjahutus kWh	kogus/a	ühik				
elektter (MSP)	24455	-	-	-	-	-	-	soojuspump	20,4
võrguelektter (valgustus, tehnika)	83030	-	-	-	-	37140	-	PV-jaam	38,3
võrguelektter (eriotstarbelised lisaseadmed)	364675	-	-	-	-	-	-	-	304,7
								Erikasutus KOKKU:	58,8
								Erikasutus* KOKKU:	363,4
								<b>Kaalutud energiaerikasutus (KEK)</b>	<b>118</b>
								Kaalutud energiaerikasutus (KEK)*	727
*- arvvaartus koos eriotstarbeliste lisaseadmetega: väljatõmbekapp, külmlett, suurkõõgiseade jms.								<b>ETA miinimumnõue</b>	<b>190</b>

Tabel 6.7. Kaalutud energiaerikasutus arvutus Energiasüsteem VARIANT 7

VARIANT 7. KEK arvutus (kaubandushoone energiakasutus)							Kõetav pind (m <sup>2</sup> ):		1197
Soojusenergia: SEKmootor; Elektrienergia: võrk									
ENERGIAKANDJA	TARNITUD		ENERGIA			OSTETUD KÜTUSED	Eksporditud energia kWh/a	Lokaalne TE süsteem	Erikasutus kWh/m <sup>2</sup> *a
	elektter kWh	kaugküte kWh	kaugjahutus kWh	kogus/a	ühik				
maagaas (SEKmootor)	-	-	-	17879	Nm <sup>3</sup>	-	-	-	138,9
maagaas (tipukatel)	-	-	-	2650	Nm <sup>3</sup>	-	-	-	20,6
võrguelektter ( valgustus, tehnika)	83030	-	-	-	-	54320	SEK	-	24,0
võrguelektter (eriotstarbelised lisaseadmed)	364675	-	-	-	-	-	-	-	304,7
								Erikasutus KOKKU:	183,5
								Erikasutus* KOKKU:	488,1
								<b>Kaalutud energiaerikasutus (KEK)</b>	<b>207</b>
								Kaalutud energiaerikasutus (KEK)*	698
*- arvvaartus koos eriotstarbeliste lisaseadmetega: väljatõmbekapp, külmlett, suurkõõgiseade jms.								<b>ETA miinimumnõue</b>	<b>190</b>

Tabel 6.8. Kaalutud energiaerikasutus arvutus Energiasüsteem VARIANT 8

VARIANT 8. KEK arvutus (kaubandushoone energiakasutus)							Kõetav pind (m <sup>2</sup> ):		1197
Soojusenergia: SEKmootor; Elektrienergia: võrk+PV									
ENERGIAKANDJA	TARNITUD		ENERGIA			OSTETUD KÜTUSED	Eksporditud energia kWh/a	Lokaalne TE süsteem	Erikasutus kWh/m <sup>2</sup> *a
	elektter kWh	kaugküte kWh	kaugjahutus kWh	kogus/a	ühik				
maagaas (SEKmootor)	-	-	-	17879	Nm <sup>3</sup>	-	-	-	138,9
maagaas (tipukatel)	-	-	-	2650	Nm <sup>3</sup>	-	-	-	20,6
võrguelektter ( valgustus, tehnika)	91500	-	-	-	-	91460	SEK+PVjaam	-	0,0
võrguelektter (eriotstarbelised lisaseadmed)	356205	-	-	-	-	-	-	-	297,6
								Erikasutus KOKKU:	159,5
								Erikasutus* KOKKU:	457,1
								<b>Kaalutud energiaerikasutus (KEK)</b>	<b>160</b>
								Kaalutud energiaerikasutus (KEK)*	636
*- arvvaartus koos eriotstarbeliste lisaseadmetega: väljatõmbekapp, külmlett, suurkõõgiseade jms.								<b>ETA miinimumnõue</b>	<b>190</b>

Järeldused. Regulatsioonis esiatud meetodikaga leitud arvvaartused ei anna hinnangut, kui suured on omanikule hoone energiaga varustamise kulud rahaliselt. Energiatõhususarv väljendab pigem infot, kui palju kasutatakse loodusressursse konkreetse hoone energiavarustuseks ja palju tekib selle käigus CO<sub>2</sub> õhuheitmeid.

Võrdlusest selgus, et 8 energiavarustuse variandist 6 puhul vastab hoone energiatõhususe miinimumnõudele.

Kõige energiatõhusamaks kujunes VARIANT 6, hoone energiavarustuseks kasutatakse maasoojuspumpa, võrguelektrit ja PV-jaama, KEK arvvaartus on siis 118 kWh/(m<sup>2</sup>\*a). Kõige vähem energiatõhusaks kujunes VARIANT 3, kui energiavarustuseks on maagaasikatel ja võrgueleketer, KEK arvvaartus 231 kWh/(m<sup>2</sup>\*a).

Suurimat efekti hoone energiaklassi parandamiseks omas PV-jaama paigaldamine hoone energiavarustussüsteemi osaks. Näiteks, kui kaugküttel hoone tavaolukorras ei vastaks energiatõhususe miinimumnõudele, siis paigutades sellele energiatootmiseks PVjaama muutub hoone energiatõhususe nõuete kohaseks.

## 6.2. Hoone energiaklass erinevate energiasüsteemide korral

Ühiskondlikud- ja ärihooned ning korterelamud peavad omama energiamärgist, üksikelamute puhul on see vabatahtlik. Energiamärgis kajastab ehitusprojekti alusel määratud hoone energiatõhusarvu (edaspidi ETA) või tarbimisandmete alusel leitud kaalutud energiaerikasutust (edaspidi KEK). Energiamärgise peab hoone omanik paigutama nähtavale kohale ja tegevusõigusega energiatõhusus ekspert esitab selle riigi ehitusregistrile, kus see avalikustatakse avalikus vaates. Projekteeritud energiavajaduse kohta antud energiamärgis kehtib kaks aastat alates hoone valmimisest. Tegelikult energiatarbimise kohta antud energiamärgis kehtib kümme aastat. Riikliku määruse alusel jagunevad energiaklassid vastavalt skaalale:

Tabel 6.9. Kaubandushoone ETA või KEK klassi skaala

Allikas: Majandus- ja taristuministri 30.04.2015.a määrus 36, Lisa 3

<b>ETA või KEK, kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	<b>Klass</b>
ETA või KEK ≤ 160	A
161 ≤ETA või KEK ≤ 190	B
191 ≤ETA või KEK ≤ 230	C
231 ≤ETA või KEK ≤ 280	D
281 ≤ETA või KEK ≤ 330	E
331 ≤ETA või KEK ≤ 390	F
391 ≤ETA või KEK ≤ 460	G
ETA või KEK ≥ 461	H

Kaalutud energiaerikasutuse (KEK) arvutustulemuste järgi määrati iga energisüsteemi variandi kohta hoone energiaklass Tabel 6.10.

Tabel 6.10. Kaubandushoone energiaklass erinevate energiasüsteemide korral

	Energiasüsteem VARIANT 1	Energiasüsteem VARIANT 2	Energiasüsteem VARIANT 3	Energiasüsteem VARIANT 4	Energiasüsteem VARIANT 5	Energiasüsteem VARIANT 6	Energiasüsteem VARIANT 7	Energiasüsteem VARIANT 8
Soojusvarustus	Kaugküte_hake	Kaugküte_hake	Maagaasikatel	Maagaasikatel	Maasoojuspump	Maasoojuspump	SEKmootor	SEKmootor
Elektrivarustus	Võrguelekter	Võrguelekter PV-jaam	Võrguelekter	Võrguelekter PV-jaam	Võrguelekter	Võrguelekter PV-jaam	Võrguelekter	Võrguelekter SEKmootor PV-jaam
Energiaõhusus kWh/(m2*a)	220	158	230	169	180	118	207	160
Energiaõhususe pingerida	6	2	7	4	6	1	5	3
<b>Hoone energiaklass</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>A</b>
190 kWh/(m2*a)	kehtiv energiaõhususe minimumnõue 2020.aastal							
	ei vasta energiaõhususe nõudele							
	vastab energiaõhususe nõudele							

## KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli analüüsida erinevatel tehnoloogiatel põhinevaid hoone energiavarustuse süsteeme, leida parim võimalik lahendus 1197 m<sup>2</sup> kasuliku pinnaga kaubandushoone tarbeks. Muuhulgas üritati teemale läheneda „Trilemma“ lahendamise seisukohast, kui otsitakse energiasüsteemide kavandamisel parimat tasakaalu energia maksumuse, varustuskindluse ja keskkonnahoiu vahel. Juuresolevas töös jõuti tulemusteni, mis on kajastatud kokkuvõtlikult Tabel 7.

Tabel 7. Hoone energiavarustuse variantide kokkuvõtlik võrdlus

Kaubandushoone, kätav pind 1197m <sup>2</sup>					Elektrivajadus 447,5 MWh/a	Küttevajadus 107,6 MWh/a		
	VARIANT 1	VARIANT 2	VARIANT 3	VARIANT 4	VARIANT 5	VARIANT 6	VARIANT 7	VARIANT 8
Soojavarustus	Kaugküte_hake	Kaugküte_hake	Maagaasikatel	Maagaasikatel	Maasoojuspump	Maasoojuspump	SEKmootor	SEKmootor
Elektrivarustus	Võrguelekter	Võrguelekter	Võrguelekter	Võrguelekter	Võrguelekter	Võrguelekter	Võrguelekter	Võrguelekter
		PV-jaam		PV-jaam		PV-jaam		PV-jaam
Omatoodang% soojus	0	0	100	100	100	100	100	100
Omatoodang% eleker	0	8	0	8	0	8	12	20
<b>Aastakulu KMga_eur</b>	<b>54249</b>	<b>52472</b>	<b>50763</b>	<b>48985</b>	<b>53866</b>	<b>53245</b>	<b>49794</b>	<b>47741</b>
Rahaline sääst arvel	0	4%	6%	10%	1%	2%	8%	12%
<b>Kuukulu eur/m<sup>2</sup></b>	<b>3,78</b>	<b>3,65</b>	<b>3,53</b>	<b>3,41</b>	<b>3,61</b>	<b>3,75</b>	<b>3,22</b>	<b>3,08</b>
Kulutõhususe pingerida	8	6	4	3	5	7	2	1
Energia <sup>tõhusus kWh/(m<sup>2</sup>*a)</sup>	220	158	230	169	180	118	207	160
Energia <sup>tõhususe pingerida</sup>	7	2	8	4	5	1	6	3
Hoone energiklass	C	A	C	B	B	A	C	A
<b>Varustuskindlus</b>	<b>väga hea</b>	<b>väga hea</b>	<b>rahuldav</b>	<b>rahuldav</b>	<b>hea</b>	<b>hea</b>	<b>rahuldav</b>	<b>rahuldav</b>
190 kWh/(m <sup>2</sup> *a)	kehtiv energiatõhususe miinimumnõue 2020.aastal							
	ei vasta energiatõhususe nõudele							
	vastab energiatõhususe nõudele							

Hoone energiavajadus. Kaubandushoone jahtumise katmiseks vajatakse aastas küttenegiat 107,50 MWh st ligikaudu 89 kWh/m<sup>2</sup>. Arvutuslik ja mõõdetud kütteenergia vajadus langesid kokku. Tarbeelektrit valgustuse ja kaupluse tavatehnika toiteks kulub 83,03 MWh st. ligikaudu 69 kWh/m<sup>2</sup>. Eriotstarbeliste seadmete külmkambrid ja -letid ning suurköögiseadmed käitamiseks kulub elektrienergiat ligikaudu 364,68 MWh st. 305 kWh/m<sup>2</sup>. Energiamärgistel esitatud arvutuslik kaubandushoone elektritarbimise kogus ei väljenda hoone ja sisseseadete tegelikku elektrivajadust. Arvutustes saab aluseks võtta võrguettevõtja mõõdetud ja tarbimistestatisele esitatud tegelikud andmed.

Omatoodang. Lokaalselt on võimalik väikeseadmetega toota kuni 100% soojaenergiast. Elektrienergiast on võimalik omatoodanguga katta maksimaalselt kuni 20% vajadusest, seejuures PV-jaamaga kuni 8% ja SEKmootoriga kuni 12%. Tootmiseseadmete valik ja töörežiimid olid modelleeritud nii, kogu omatoodatud energia tarbiti hoones. Saldeerimise andmete alusel elektritootmise ülejääki ei

tekkinud, mida võrku edastada. Seega puudub vajadus ka taastuenergia või tõhusa koostootmise toetust taotlelda.

Kulutõhusus. Aasta koguenergiakulu hoone puhul jääb vahemikku 47,7 tuhat kuni 54,2 tuhat eurot koos käibemaksuga, kuna ruumide kasutaja on lõpptarbija. Seega kalendrikuu kommunaalarvel on see keskmiselt vahemikus 3,32 eur/m<sup>2</sup> kuni 3,78 eur/m<sup>2</sup>, seega erinevus maksimaalselt 12%. Kõige kulutõhusamaks osutus VARIANT 8, kui kogusoojus toodetakse SEKmootoriga ja tipukatlaga. Elekter saadakse elektrivõrgust ja PV-jaama ning SEKmootori omatoodangust, kokku 20% ulatuses. Kõige vähem kulutõhusaks ostutus VARIANT 1, kus soojus saadakse kaugkütte võrgust ja kasutatakse täies ulatuses võrguelektrit. Kõigi energiavarustus variantide kogumaksumus jääb suhteliselt sarnasesse suurusjärku. Seega investeringuotsuse tegemisel peaks lähtuma konkreetsest asukoha ühendusvõimalustest, kuhu on tehniliselt kõige lihtsam liituda.

Hoone energiatõhusus. Riiklikult kehtiv energiatõhususe miinimumnõue kuni aastani 2019 oli kaubandushoone puhul 230 kWh/(m<sup>2</sup>\*a). Sellele nõudele vastaksid kõik hoone energiasüsteemi variandid. Alates 2019 aastast karmistati nõudeid. Kehtiv energiatõhususe nõue on 190 kWh/(m<sup>2</sup>\*a). Kehtivale nõudele ei vastaks enam VARIANT 1, kus hoone energiavarustuseks on kaugküte ja võrguelekter ning VARIANT 3, kus hoone energiavarustuseks on soojus maagaasikatlast ja võrguelekter ning VARIANT 7, kui soojus toodetakse maagaasi SEKmootori ja tipukatlaga ning elekter saadetakse elektrivõrgust ja omatoodangust SEKmootoriga. Olukorra muudab kõigil juhtudel nõuetele vastavaks, kui lisada hoone energiasüsteemi osaks PV-jaam. Arvutused näitavad, et kõigi energiavarustuse variantide puhul tõstab PV-jaama lisamine oluliselt hoone energiatõhusust. Loo autor seda arvamust ei jaga, kuna tihti on selliste katusepaigaldiste tegelik energiatoodang väga tagasihoidlik ebasobiva paigutusvõimaluse ja varjude tõttu. Samas kasutatakse seda laialdaselt, kuna ilma PV-jaama paigaldiseta ei ole ehitusetapis hoone energiatõhusus tõendatud. Arvutustes ei ole arvestatud saldeerimise andmetega. Hoone kasutusetapis KEK arväärtuse leidmisel jõutakse tõele ilmselt lähemale.

Hoone energiaklass. Hoone energiaklass tuletatakse energiatõhususe arvust. Energiasüsteemi variantide 2, 6 ja 8 puhul, paigutuks hoone energiaklassi „A“. Energiasüsteemi variantide 4 ja 5 puhul energiaklassi „B“. Energiasüsteemi variantide 1, 3 ja 7 puhul energiaklassi „C“. Äriliselt eelistavad arendajad ja ehitusettevõtjad ehitada hooneid energiaklassi „C“, kuna see on rahaliselt soodsam. Kõrgemasse energiaklassi ehitatakse juhul, kui see on regulatsioonidega nõutud või tellija erisoov.

Varustuskindlus. Varustuskindlus on hinnanguline. Töö autor küsitles erinevate energiavarustuse liikide lõpptarbijaid. Üldistades saab väita, et kaugkütte ja võrguelekttri tarbijate seas esineb katkestusi ja rikkeid harva. Süsteem on praktiliselt hooldusvaba. Hinnanguks loeti „väga hea“.

Maasoojuspumpa kasutajad on üldiselt rahul, tehnoloogia on ohutu. Vahel esineb katkestusi, mis on põhjustatud võrguelekttri häiringutest, eriti maapiirkonnas. Süsteem võib vajada kord aastas hooldust. Hinnanguks loeti „hea“.

Maagaasikatel on kasutajale mugav, kuid kätkeb rikete korral endas terviseohutusriske (vingugaas ja plahvatus). Süsteem vajab kindlasti enne küttehooaja algust hooldust. Hinnanguks loeti „rahuldav“.

SEKmootor on kasutajale kapriisne süsteem. Vajab pidevat jälgimist ja püsivat hooldust. Hooldus (sh määrideõlid) on väga oluline. Töös võib esineda katkestusi, seetõttu on alati vajalik rajada paralleelselt reservvõimsus (tavaliselt õli- või maagaasi tipukatel). Hinnanguks loeti „rahuldav“.

PV-jaam on tavaliselt hooldusvaba. Kaabeldus võib ajas vananeda ja pistikud pikas perspektiivis vajada asendamist. Oluline on katusepaigaldiste puhul kinnitused, et süsteem püsiks ka tugevate tuultega. Kuna toimib võrguelektriga paralleeltöös, siis hoone varustuskindlust ei mõjutanud, seega eraldi ei hinnatud.

Järeldused ja soovitused. Energiavarustuse kogumaksumus jääb kõikide variantide puhul sarnasesse suurusjärku. Olulisi eelistusi ühe või teise variandi kasuks või kahjuks ei avastatud. Seega investearingute otsuse tegemisel peaks lähtuma konkreetsest asukoha ühendusvõimalustest, kuhu on tehniliselt kõige lihtsam liituda. Töö autori soovitused energiasüsteemi kavandamisel on alljärgnevad:

Eelistus 1. Valida hoonesse energiasüsteem VARIANT 2. Soojus võetakse kaugküttest ja kasutatakse võrguelektrit ning lamekatuse korral paigaldatakse PV-jaam. See lahendus on lõpptarbijale kõige mugavam. Alternatiivina lokaalsete energiatootmisviiside kasutamisel oleks rahaline sääst ruutmeetri kohta suhteliselt marginaalne. Hoone energiaklass „A“. Primaarenergia allikate eest tasutav raha jääb enamuses Eesti majandusse.

Eelistus 2. Valida hoonesse energiasüsteem VARIANT 8. Rajatakse kaugküttevõrgu puudumisel. Soojus SEKmootorist ja võrguelekter, lisaks elektri omatoodang PV-jaamast ja SEKmootorist. Süsteemi peaks kindlasti rajama koos avariireserviga st. maagaasikatel rikke olukorras. Majanduslikus mõttes omanikule kõige tasuvam,

rahaline sääst arvel kuni 12%. Hoone energiaklass „A”. Primaarenergia allikate eest tasutav raha enamuses ei jää Eesti majandusse.

Eelistus 3: Valida hoonesse energiasüsteem VARIANT 5. Rajatakse kaugkütte ja gaasivõrgu puudumisel. Soojus maasoojuspumbast ja võrgelekter. PV-jaama ei paigaldaks, sest see eeldaks suurt alginvesteeringut, aga hoones energiavarustuse ühikuhinda oluliselt ei alanda. Hoone energiaklass piisav „B”. Primaarenergia allikate eest tasutav raha jääb pooles osas Eesti majandusse.

Üldiselt oli analüüsi koostada mahukas, aga huvitav. Tuli analüüsida väga paljusid andmeallikaid, et moodustada usaldusväärsed sisendandmed lõpparvutuseks. Enim väljakutseid pakkus tootmismudelite koostamine arvutiprogrammis MS Excel, kui tabelarvutusse tuli kokku viia sooja- ja elektri samaaegne tootmine ning elektri toodanguandmed saldeerida võrguelektri tunnitarbimise andmetega. Analüüsi lõpptulemus ei olnud ette teada ja see selgitati välja järkjärguliselt lõputöö koostamise käigus. Lisaks kujunes väljakutseks maagaasi hinnatrendide ja võrgutasude välja selgitamine viimase 5 aasta kohta. Kindlasti on oluline, et energiavarustuse hinna määramiseks hoones ei kasutatud aasta keskmisi, vaid elektri- ja võrguteenuse tunnipõhiseid öiseid ja päevaseid tariife ning maagaasi külma ja sooja küttekuu turuhindasid ning SEKmootori tootmine kavandati tsükliliselt neile ajahetkedele, kui võrguelektri hinnapiigid on kõige kõrgemad.

Tulemuste alusel võib väita, et lokaalsete energiatootmiseseadmete tegelikud tootmisandmed ja kulutõhusus on oluliselt tagasihoidlikumad, kui neid müüvad ettevõtted reklaamides on lubanud. Töö praktiliseks väärtuseks on asjaolu, et sisendandmetena kasutati realselt eksisteerivate paigaldiste energiavoogude andmeid ja neid analüüsiti konkreetse hoone näitel, seega võib tulem olla usaldusväärne. Autor on arvamusel, et analüüsi raames jõuti tulemusteni, mis olid eesmärgiks seatud lõputöö lähteülesandes.

Täiendavat uurimist vajaks hinna tundlikkuse teema, kas gaasipaigaldised (gaasikatel ja SEKmootor) püsivad teiste energiasüsteemidega konkurentsisis olukorras, kui maagaasi 5 aasta keskmine hind ja aktsiis oluliselt tõusevad.

Loodan, et töö andis ülevaate turuolukorrast ja leitud tulemused leiavad kasutamist kaubandushoonetele energiasüsteemide kavandamisel.

Täna lugejaid!

## KASUTATUD KIRJANDUS JA INFOALLIKAD

[1] Artikkel Eesti rahvusringhäälingus, Euroopa Rohelepe [Võrgumaterjal] Available: [https://www.err.ee/1033727/eelarvevolinik-julgustab-eestit-rohepooret-tegema\\_](https://www.err.ee/1033727/eelarvevolinik-julgustab-eestit-rohepooret-tegema_) [Kasutatud 15.04.2020.a]

[2]. Projekti „Roheline Euroopa“ tutvustus [Võrgumaterjal] Available: <https://www.rahandusministeerium.ee/sites/default/files/Valistoetused/ukp-2021-2027.pdf>. [Kasutatud 15.04.2020.a]

[3]. Energiavarustuse Trilemma mõõdikud [Võrgumaterjal] Available: <https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/world-energy-trilemma-index>. [Kasutatud 15.04.2020.a].

[4]. Majandus- ja taristuministri 05.06.2015 vastuvõetud ääruel nr 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika“

[5]. Majandus- ja taristuministri 03.06.2015 määrusega nr 55 vastu võetud „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“

[6] Konkurentsiameti poolt kinnitatud kaugkütte hinnad [Võrgumaterjal] Available: <https://www.konkurentsiamet.ee/et/vesi-soojus/soojus/kooskolastatud-soojuse-piirhinnad>. [Kasutatud 20.04.2020.a].

[7] Balti Gaasibörsi veebileht. [Võrgumaterjal] Available: <https://www.getbaltic.com/en/market-data/implicit-capacity-allocation/>. [Kasutatud 20.04.2020.a].

[8] Gaasimüüjate pakkumishinnad. [Võrgumaterjal] Available: [www.gaasihind.ee](http://www.gaasihind.ee) [Kasutatud 20.04.2020.a].

[9] „Energiatalgud gaasituru andmed“. [Võrgumaterjal] Available: <https://energiatalgud.ee>. [Kasutatud 20.04.2020.a].

[10] Konkurentsiameti poolt kinnitatud maagaasi võrguteenus hinnad. [Võrgumaterjal] Available: [https://www.konkurentsiamet.ee/sites/default/files/ajutine\\_kaust/gaasi\\_vorgutasud\\_2020-01-10.pdf](https://www.konkurentsiamet.ee/sites/default/files/ajutine_kaust/gaasi_vorgutasud_2020-01-10.pdf). [Kasutatud 25.04.2020.a].



[11] Tolli- ja maksuameti poolt kinnitatud aktsiismäärad. [Võrgumaterjal] Available: <https://www.emta.ee/et/ariklient/aktsiisid-vara-asartmang/uldist/aktsiisimaarad> [Kasutatud 20.04.2020.a].

[12]. Elektribörsi veebileht. elektribörsi NordPoolSpot veebilehelt

[13]. Elektrimüüjate pakkumishinnad [Võrgumaterjal] Available: [www.elektrihind.ee](http://www.elektrihind.ee) [Kasutatud 20.04.2020.a].

[14] Elektrilevi OÜ võrguteenuse hinnakiri. [Võrgumaterjal] Available: [https://www.elektrilevi.ee/-/doc/8644141/kliendile/elektrilevi\\_hinnakiri\\_vorguteenuse\\_hinnad\\_alates\\_1\\_jaanuarist\\_2020\\_EST.pdf](https://www.elektrilevi.ee/-/doc/8644141/kliendile/elektrilevi_hinnakiri_vorguteenuse_hinnad_alates_1_jaanuarist_2020_EST.pdf). [Kasutatud 02.04.2020.a].

[15]. Elektrilevi OÜ võrguga liitunud väiketootjad. [Võrgumaterjal] Available: [https://www.elektrilevi.ee/-doc/6305157/kliendile/el\\_info\\_liitunud\\_tootjad.pdf](https://www.elektrilevi.ee/-doc/6305157/kliendile/el_info_liitunud_tootjad.pdf). [Kasutatud 02.04.2020.a]. [Kasutatud 02.04.2020.a].

[16]. Taastuenergia väljamakstud toetuse saajad. [Võrgumaterjal] Available: <https://elering.ee/taastuenergia-toetus>. [Kasutatud 02.04.2020.a].

[17]. A.Rosin, S.Link ja I. Brovar "Energia lokaalse tootmise analüüs büroohoonele Osa I. TTÜ, Tallinn, 2013.

[18] Majandus- ja taristuministri 03.04.2015 määrusega nr 36 vastu võetud määrus "Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele".