



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

## **TEATRITE ELEKTRIVARVETE VÄHENDAMISE VÕIMALUSED EESTI NOORSOOTEATRI NÄITEL**

### **POSSIBILITIES OF REDUCING THEATRES' ELECTRICITY BILLS BY THE EXAMPLE OF EESTI NOORSOOTEATER**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Ats-Janno Pihu

Üliõpilaskood: 203830AAVM

Juhendaja: Professor Ivo Palu

Kaasjuhendaja: Vanemlektor Reeli Kuhi-Thalfeldt

(Tiitellehe pöördel)

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." ..... 20.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 20.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

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

Mina, Ats-Janno Pihu,

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Teatrite elektriarvete vähendamise võimalused Noorsooteatri näitel”,

mille juhendaja on Ivo Palu,

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

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

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

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

---

18.05.2022

---

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

# LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

<i>Autor:</i> Ats-Janno Pihu	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Teatrite elektriarvete vähendamise võimalused Eesti Noorsooteatri näitel	
<i>Kuupäev:</i> 18.05.2022	86 lk ( <i>lõputöö lehekülgede arv koos lisadega</i> )
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja(d):</i> Professor Ivo Palu Vanemlektor Reeli Kuhi-Thalfeldt	
<i>Töö konsultant (konsultandid):</i> Eesti Noorsooteatri haldusjuht Ahto Paju Teadur Victor Astapov	
<p><i>Sisu kirjeldus:</i> Lõputöö eesmärgiks on esitada teatritele võimalusi oma hoonete elektriarvete vähendamiseks. Vajadus selleks on tingitud 2021. aasta keskel hüppeliselt tõusma hakanud elektrihindadest. Seega otsustas ühele neist, Eesti Noorsooteatrile, oma abikäe ulatada professor Ivo Palu, kes oligi lõputöö teema algatajaks.</p> <p>Esmalt uuriti teatri viimaste aastate tarbimisandmeid ja elektriarveid, et kindlaks teha, kas ka elektri tarbimine on teatris hiljuti tõusnud või on peale turuhinna ka muud elektriarvete komponendid kallinenud. Sellele järgnevalt teostati teatri suurima tarbimisega liitumispunktis nädalapikkune elektriline mõõtmine, et teatri elektrilisi parameetreid ning energiatarvet paremini analüüsida.</p> <p>Edasi uuriti hoone elektrit tarbivaid seadmeid ja süsteem kolmes osas – küte, jahutus ja ventilatsioon; valgustus; kontoriseadmed.</p> <p>Analüüsi tulemusena pakuti teatrile mitmeid soovitusi, muuhulgas: teatris teostada laiaulatuslikum ja täpsem mõõtmine; pingete väärtuste langetamiseks kaaluda reaktiivenergia kompenseerimist; faaside vahel koormusi võrdsemalt ümber jaotada, et vähendada asümmeetriat; nii jahutust kui ka ventilatsiooni juhtida fikseeritud sätete asemel siseruumide temperatuurianduritega; muuseumis ja lavadel hõõgniitidega prožektorid välja vahetada säästlikemate LEDidega mudelite vastu.</p> <p>Summaarse ülevaate jaoks esitati lisaks ka tabel, kus prognoositi eri seadmete/süsteemide osakaalusid kogutarbimisest ning energiasäästu lahenduste rahasäästu potentsiaale.</p> <p>Teiste teatrite jaoks koostati kokkuvõtlik viie sammuline tegevusplaan, kus tähtsuse järjekorras esitati soovituslikud tegevused elektritarbe vähendamiseks.</p>	
<i>Märksõnad:</i> teatrid, energiasääst, elektrihind, reaktiivvõimsus, asümmeetria.	

## ABSTRACT

<i>Author:</i> Ats-Janno Pihu	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> Possibilities of reducing theatres' electricity bills by the example of Eesti Noorsooteater	
<i>Date:</i> 18.05.2022	<i>86 pages (the number of thesis pages including appendices)</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Professor Ivo Palu Senior Lecturer Reeli Kuhi-Thalfeldt	
<i>Consultant(s):</i> Administrative Manager of Eesti Noorsooteater, Ahto Paju Researcher Victor Astapov	
<p><i>Abstract:</i> The aim of the dissertation is to present theatres ideas for lowering the electricity bills in their buildings. The need for that arose due to the sharp rise of electricity prices in mid-2021. Hence Professor Ivo Palu, who was the originator of the idea for the thesis, decided to lend a helping hand to one of them, Eesti Noorsooteater.</p> <p>Firstly, the theatre's consumption data and electricity bills for recent years were examined to see if electricity consumption in the theatre had increased lately or if other components of electricity bills also had gotten more expensive, besides the market price of electricity. This was followed by week-long electrical measurements of the theatre's highest consuming connection point to better analyze the building's electrical parameters and energy consumption patterns.</p> <p>The building's electricity-consuming equipment and systems were further studied in three parts - heating, cooling and ventilation; lighting; office equipment.</p> <p>As a result of the analysis, a number of recommendations were offered to the theatre, including but not limited to: to perform more extensive and specific measurements in the theatre; to redistribute loads between phases for reducing asymmetry; to rather drive both cooling and ventilation with indoor temperature sensors than fixed settings; to replace the filament spotlights with more economical LED versions in the museum and the stages.</p> <p>To summarize the data, a table was also presented, which forecasts the percentages of different equipment/systems in the theatre's total consumption and the potential for saving money with corresponding proposed energy saving solutions.</p> <p>For other theatres, a concise five-step action plan was drawn up outlining the recommended actions for reducing electricity consumption.</p>	
<i>Keywords:</i> theatres, energy savings, price of electricity, reactive power, asymmetry.	

# Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Ats-Janno Pihu, 203830  
Õppekava, peeriala: AAVM, Energiasüsteemide digitaliseerimine  
**Juhendaja(d):** Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi direktor, Ivo Palu, +372 520 1882  
Vanemlektor, Reeli Kuhi-Thalfeldt, +372 620 3763  
**Konsultant:** Ahto Paju, haldusjuht  
SA Eesti Noorsooteater, +372 667 5967, ahto.paju@noorsooteater.ee

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) Teatrite elektriarvete vähendamise võimalused Eesti Noorsooteatri näitel  
(inglise keeles) Methods of reducing theatres' electricity bills by the example of Eesti Noorsooteater

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Luua kokkuvõtlik ülevaade Noorsooteatri praegusest elektripaigaldisest, eriti elektrit tarbivatest seadmetest ja nende juhtimise põhimõtetest;
2. Analüüsida, kuidas olemasolevaid seadmeid/süsteeme võimalikult energiasäästlikult kasutada või pakkuda välja uusi seadmeid/lahendusi;
3. Edastada info ning nõuanded selliselt, et ka teised teatriasutused saaksid käesolevat dokumenti kasutada kui juhendit elektrienergia säästmisel.

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse läbitöötamine	05.12.2021
2.	Lähteandmete kogumine	19.12.2021
3.	Teoreetilise osa kirjutamine	16.01.2022
4.	Arvutuste/mõõtmise/modelleerimise teostamine	06.02.2022
5.	Uuringu tulemuste kirjeldamine	06.03.2022
6.	Järelduste kirjutamine	13.03.2022
7.	Kokkuvõtte koostamine	20.03.2022
8.	Töö esimese versiooni saatmine juhendajatele läbilugemiseks	27.03.2022
9.	Töös paranduste sisseviimine	17.04.2022
10.	Töö teise versiooni saatmine juhendajatele läbilugemiseks	24.04.2022
11.	Töö lõplik versioon valmis koos allkirjadega	17.05.2022

**Töö keel:** eesti      **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "....." .....20.....a

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

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

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

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

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

# SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE .....	4
ABSTRACT.....	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE .....	6
EESSÕNA .....	10
SISSEJUHATUS .....	11
1. NOORSOOTEATRI TUTVUSTUS JA PROBLEEMI KÄSITLEMINE .....	13
1.1 Noorsooteatri lühitutvustus .....	13
1.2 Energiatarbe optimeerimise probleemi olemus teatrihoonetes .....	14
1.3 Lähimineviku tarbimisandmete ja elektriarvete analüüs.....	14
1.3.1 Aastate 2018-2021 tunnipõhiste tarbimisandmete analüüs.....	14
1.3.2 Aastate 2018-2021 elektriarvete analüüs.....	16
1.3.3 Elektripakettide teoreetiline võrdlus .....	18
2. ELEKTRILISTE MÕÕTMISTE TEOSTAMINE NOORSOOTEATRIS .....	20
2.1 Sissejuhatav info mõõtmiste kohta .....	20
2.2 Mõõtetulemused ja nende analüüs .....	22
2.2.1 Pinged .....	22
2.2.2 Voolud.....	24
2.2.3 Võimsused .....	26
2.2.4 Elektripakettide võrdlus mõõdetud võimsuste põhjal .....	27
3. ELEKTRIKVALITEEDI PARAMEETRID HOONE ELEKTRIPAIGALDISES.....	29
3.1 Aktiivvõimsus, reaktiivvõimsus ja näivvõimsus.....	29
3.1.1 Reaktiivvõimsus Noorsooteatris.....	31
3.1.2 Reaktiivvõimsuse kompenseerimine.....	31
3.2 Harmoonmoonutus .....	33
3.2.1 Harmoonmoonutus Noorsooteatris.....	34
3.3 Ühefaasiliste koormuste asümmeetria.....	36
3.3.1 Faasidevahelise asümmeetria arvutamine Noorsooteatris .....	38
4. KÜTE, JAHUTUS JA VENTILATSIOON .....	40
4.1 Küte .....	40
4.1.1 Siseõhu kütmine Noorsooteatris .....	41
4.1.2 Kõnnitee ja vihmaveerennide küttekaablid (jääsulatus).....	43
4.1.3 Tarbevee kütmine .....	43
4.2 Jahutus.....	45
4.2.1 Jahutus Noorsooteatris.....	45
4.3 Ventilatsioon.....	47
4.3.1 Ventilatsioon ja selle juhtimine Noorsooteatris.....	48



5. VALGUSTUS.....	50
5.1 Üldiselt sisevalgustusest ja eri tüüpi lampidest.....	50
5.2 Valgustus Noorsooteatris .....	52
5.2.1 Sisevalgustus ja selle juhtimine.....	52
5.2.2 Lavade valgustus, lavaprožektorid .....	53
5.2.3 Esteetilise eesmärgiga valgustid ja reklaamiobjektid.....	54
5.2.4 Välisvalgustus ja selle juhtimine .....	57
6. KONTORISEADMED.....	58
6.1 Kontoriseadmete elektritarve.....	58
6.2 Kuidas kontoriseadmeid energiasäästlikult kasutada?.....	59
6.2.1 Arvutus – magava režiimi kasutus ühe lauaarvuti ja kahe monitoriga...	59
7. KOKKUVÖTTEV INFO TEATRITALE .....	61
7.1 Soovitused Noorsooteatrile.....	61
7.2 Soovitused ja tegevuste nimekiri teistele teatritele .....	64
KOKKUVÕTE .....	66
SUMMARY .....	69
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	72
LISAD .....	76
Lisa 1 Noorsooteatri igakuine elektri tarbimine aastatel 2018-2019.....	77
Lisa 2 Noorsooteatri igakuine elektri tarbimine aastatel 2020-2021.....	78
Lisa 3 Aasta 2018 elektriarvete koondinfo .....	79
Lisa 4 Aasta 2019 elektriarvete koondinfo .....	80
Lisa 5 Aasta 2020 elektriarvete koondinfo .....	81
Lisa 6 Aasta 2021 elektriarvete koondinfo .....	82
Lisa 7 Esimeses sektsioonis kasutatud mõõteseade – A-Eberle PQ-Box 300.....	83
Lisa 8 Teises sektsioonis kasutatud mõõteseade – Qualitrol Informa PMD-A .....	84
Lisa 9 Noorsooteatri Nunne tn 4 hoone elektriskeem.....	85
Lisa 10 Ventilatsiooniruum Nunne tn 4 hoones – Siemensi jahutussüsteem .....	86

## **EESSÕNA**

Tahaksin tänada Tallinna Tehnikaülikooli mehhatroonika ja elektroenergeetika instituudi direktorit/professorit Ivo Palu, kes käesoleva teema algatajaks oli ja töö kirjutamise jooksul head tagasisidet ja huvitavaid ideid välja pakkus.

Sealjuures tänan ka kaasjuhendajat vanemlektorit Reeli Kuhi-Thalfeldti, kes mind käesoleva põneva teemaga algselt kokku viis ning kogu lõputöö kirjutamise aja vältel konsultatsiooni pakkus.

Pühendan tänuavaldused ka Noorsooteatri haldusjuhile Ahto Pajule, kes abivalmilt jagas oma aega ja kõikvõimalikke abistavaid andmeid ning infot Eesti Noorsooteatri kohta.

Viimaseks edastan tänusoovid Victor Astapovile, kes aitas teatris kohapealsed mõõtmised teostada ning samuti jooksvalt konsultatsiooni pakkus ja ideid jagas.

## SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö teema valik tulenes Tallinna Tehnikaülikooli professori Ivo Palu ettepanekust aidata teatritel elektritarbimist vähendada, kuna hiljuti hüppeliselt tõusnud elektrihinnad on nimetatud kultuuriasutustele põhjustanud suuri ja ootamatuid lisakulusid. Lõputöö raames käsitletavaks teatriks saab olema Eesti Noorsooteater. Uurimise alla läheb vaid üks teatritest, aga lõputöö eesmärgiks on informatsiooni ja nõuandeid kajastada nii, et ka teised teatriasutused saaksid valminud dokumenti enda hüvanguks kasutada.

Euroopa on täna hädas rekordeid murdva tõusuga elektrihindades, mis tugevalt aeglustab pandeemia-aegse majanduse taastumist, koormab tavainimeste rahakotte ja takistab ka investeringuid rohepöördesse. Mitmed majanduslikud, geograafilised ja poliitilised tegurid on õnnetult kokku langenud ja see kõik algas aasta keskel, ajal, mil ilmad aina külmenema hakkasid ja suurenev nõudlus elektri järgi probleemi veelgi võimendas.

Ühed kultuurselt märkimisväärsed asutused, kes ei olnud oma eelarvetes elektrihinna tõusuga arvestanud, ongi eelmainitud teatrid. Näiteks rahvusoper Estonia juht Ott Maaten on öelnud välja, et nende jaoks on elektrihinna tõus tähendanud 50000 – 100000 euro suurust lisakulu [1]. Eestis on kokku 65 teatrit ning kuna tegemist on ühete inimestele südamelähedaste kultuuriobjektidega, hakatakse uurima, kuidas neid täbarast olukorrast välja aidata saaks. [2]

Näiteks Londonis, kus on rohkelt teatreid, on juba 2008. aastal valitsuse poolt tõstatatud teemaks teatrite süsiniku jalajälje vähendamine. Valitsuse poolt väideti, et kui teatrid kõiki jagatud soovitusi kuulda võtaksid, võiksid nende CO2 emissioonid aastaks 2025 väheneda 60% võrra võrreldes 1990ndate aastatega.

Soovitusi oli mitmeid, näiteks pakuti välja [3]:

- valgustid välja vahetada säästlikumate vastu;
- töölisi koolitada käituma energiasäästlikumalt;
- ehitiste soojusisolatsioon hilisematele standarditele vastavaks teha;
- parandada kogu ehitise võimsustegurit (koosinus fii);
- öösel kliimaseadmete käitamist minimeerida.

Lähtudes eelnevalt paika pandud eesmärkidest tuuakse välja edaspidine magistritöö struktuur peatükkide lõikes järgnevalt. Esmalt tutvustatakse Noorsooteatrit kui objekti

ning analüüsitakse eelnevate aastate tarbimisandmeid ja elektriarveid, et võimalikult täpselt välja selgitada, mis on kulude tõusu põhjustanud ning milliseid trende järgitakse.

Edasi kirjeldatakse magistritöö raames Noorsooteatris kohapeal teostatud elektrilisi mõõtmisi, sealhulgas mõõtepunktide asukohtade valikut, kasutatud seadmeid, mõõtmisperioode ja mõõdetavaid parameetreid.

Järgmiseks seletatakse lahti tuntumad elektrikvaliteedi parameetrid – võimsustegur, harmoonmoonutus, koormuste asümmeetria ja nende mõjud elektritarbe suurenemisele. Iga mõõdetud parameetri taset uuritakse Noorsooteatris, et anda hinnang, kas ja mida peaks ette võtma olukorra parandamiseks.

Edasi jaotatakse teatri suuremad elektritarbijad erinevateks osadeks, milledest esimesena käsitletakse kütet, jahutust ja ventilatsiooni. Sisekliima kvaliteeti säilitavate seadmete näol on tegemist ühtede tüüpiliselt suurimate energiatarbijatega eriti kodumajapidamistes ja büroohoonetes. Kütte all uuritakse nii siseõhu kui ka tarbevee kütmise põhimõtteid. Jahutuse- ja ventilatsioonisüsteemi puhul pannakse põhiorhk juhtimis põhimõtetele.

Järgnevalt võetakse ette valgustuse analüüs, täpsemalt kasutatavate valgustite tüübid ning nende juhtimise põhimõtted. Käsitletakse nii sise- ja välisvalgustust kui ka esteetilise eesmärgiga valgusteid, reklaamiobjekte ning lavadel ja muuseumis kasutatavaid prožektoreid.

Seadmete puhul viimasena arutatakse meetodeid üsna väikese, ent mitte olematu osakaaluga elektritarbijate – kontoriseadmete võimalikult säästlikuks kasutamiseks. Üldiselt on kontoriseadmete puhul säästliku kasutamise põhimõtteid lihtne ja odav rakendada.

Tulemusena esitatakse kokkuvõtlik tabel, et anda ülevaade erinevatest esitatavatest säästumeetmetest ning nende rakendamisel potentsiaalsetest energia- ja rahasäästudest.

Kõige lõpuks koostatakse teiste teatrite jaoks ka viiesammuline juhend või tegevuskava, millest nad saaksid juhendada enne endi elektri kokkuhoiu lahenduste rakendamist.

# 1. NOORSOOTEATRI TUTVUSTUS JA PROBLEEMI KÄSITLEMINE

## 1.1 Noorsooteatri lühitutvustus

“Eesti Noorsooteater (varasemate nimedega ENSV Riiklik Nukuteater, Eesti Nukuteater, Eesti Nuku- ja Noorsooteater, NUKU teater) asutati 1952. aastal ja on tänaseni Eesti ainus riiklik professionaalne nuku- ja visuaalteatrikallakuga teater.” [4]



Joonis 1.1 Foto Noorsooteatri hoone välisfassaadist

“Sihtasutus Eesti Noorsooteater on Eesti Riikliku Nukuteatri ja SA NUKU õigusjärglane. SA NUKU on asutatud 16.11.2012 ja nimi muudetud Eesti Noorsooteatriks 29.06.2020. Asutajaõiguste teostaja on Eesti Vabariigi Kultuuriministerium.” [5]

Eesti Noorsooteater on pigem noortele vaatajatele mõeldud ning teatri juurde kuuluvad ka Nukuteatrimuseum ja Rahvusvaheline visuaalteatريفestival Tallinn Treff, mis kõik moodustavad teatriga ühe sünergilise terviku. Kuigi Noorsooteater otsib kontakti noore vaatajaga, kõnetatakse ka teisi vanusegruppe. Teater soovib nii lastes, noorukites kui ka täiskasvanutes välja tuua nooruse ja arenemishimu. [4]

Teatri teeb unikaalseks asjaolu, et nad on Eestis ainus teater, mille repertuaaris on pidevalt visuaalteatrilavastusi ja ka nukuteatrilavastusi. Osana teatri identiteedist edendatakse järjekindlalt visuaalteatrit ja hoitakse alles nukuteatritraditsioone. [4]

## **1.2 Energiatarbe optimeerimise probleemi olemus teatrihoonetes**

Teatrite puhul on tarbimismustrite järgi tegemist pigem kommertshoonetega, mitte majapidamistega ning Euroopa komisjoni andmetel on sääraates hoonetes elektritarve tüüpiliselt 40% kõrgem. [6]

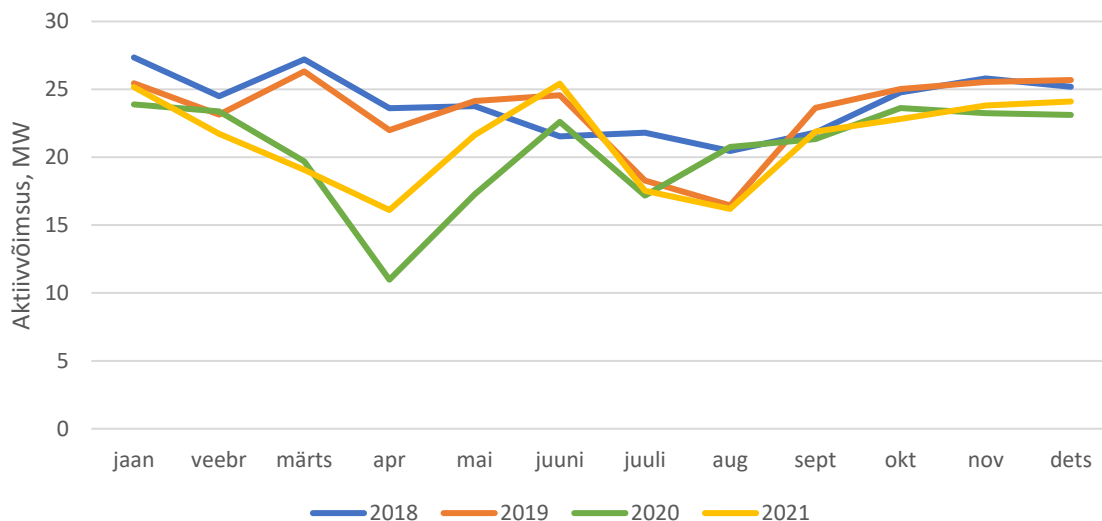
Teatrid on elektritarbe optimeerimise seisukohast üsna omapäraseid objektid, kuna tarbimisega ei ole eriti võimalik paindlik olla. Samuti puuduvad teatrites suured, võimsad ja pidevalt töötavad seadmed, mida lihtsasti reguleerida või välja vahetada saab, pigem on tegemist paljude väikeste tarbimistega ja etendussaalide puhul katkendlikult kasutatavate võimsate seadmetega (näiteks lavaprožektorid ja lavatõstukid).

## **1.3 Lähimineviku tarbimisandmete ja elektriarvete analüüs**

Noorsooteatris elektrile kuluva raha hulgast ja erinevate ostetavate võrgutoodete osakaalude mahust täpselt aru saamiseks analüüsitakse käesolevas alapeatükis viimase 4 aasta tarbimisandmeid ja elektriarveid.

### **1.3.1 Aastate 2018-2021 tunnipõhiste tarbimisandmete analüüs**

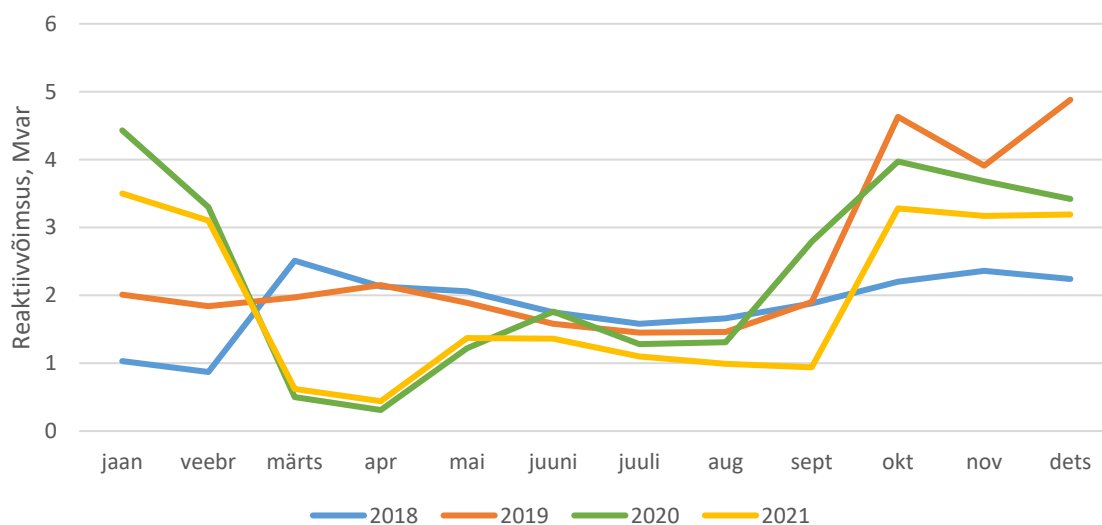
Kuigi eelduste kohaselt on viimaste elektriarvete tõusu süüdlaseks olnud elektrihinna tõus, tuleks ka veenduda, kas ja mis mahus on elektri tarbimine muutunud. Seda infot omades on optimeerimisel lihtsam edasisi otsuseid teha. Energiatarbe aastate jooksul muutumise paremaks visualiseerimiseks esitatakse igal aastal tarbitud aktiivvõimsuse kohta kuudepõhine joondiagramm (vt Joonis 1.2).



Joonis 1.2 Aktiivõimsuse tarbimine Noorsooteatris kuupõhiselt aastatel 2018-2021

Aktiiv- ja reaktiivõimsuse täpsed definitsioonid ja erinevused seletatakse lahti hilisemas peatükis (vt Peatükk 4.1). Jooniselt on näha, et aktiivõimsuse tarbimine on mahu poolest aastate jooksul üsna sarnane olnud, kui välja arvata koroonaviiruse epideemia poolt põhjustatud tarbimise vähenemised aastatel 2020 ja 2021. Käesolevaga võib järeldada, et tõenäoliselt ei ole viimaste elektriartervete suurenemine põhjustatud elektrienergia tarbimise tõusust.

Veel tasub uurida ka reaktiivõimsuse tarbimist/ tootmist. Tarbimisandmete (vt Lisa 1 ja Lisa 2) järgi oli näha, et reaktiivenergia võrgust tarbimine toimus vaid üksikutel kuudel ning väga väikeses mahus, seega analüüsitakse vaid reaktiivenergia tootmist võrku (vt Joonis 1.3).



Joonis 1.3 Reaktiivõimsuse tootmine Noorsooteatris kuupõhiselt aastatel 2018-2021

Talvekuudel on eri aastatel reaktiivvõimsuse tootmises suured erinevused sees olnud ning kahjuks ei suudetud lõputöö raames selle põhjust tuvastada. Üldiselt saab aga järeldada, et ka reaktiivvõimsuse tarbimine on aastate jooksul mahu poolest pigem samal tasemel püsinud.

### **1.3.2 Aastate 2018-2021 elektriarvete analüüs**

Järgmiseks analüüsitakse lähemalt Noorsooteatrilt saadud aastate 2018-2021 igakuiseid elektriarveid, et teha kindlaks, missugused on erinevate elektriarvete komponentide osakaalud elektriarvete kogumaksumustest.

Esmalt seletatakse lahti erinevad read elektriarvetel, et aru saada, missugustest komponentidest teatri elektriarved koosnevad. Noorsooteatri elektriarvetel sisalduvad read seletatakse lahti järgnevalt [7]:

- VML1 edastamistasu põhitariif – antud rida esitatakse arvetel, kui kasutatakse börsipaketti, tegemist on kuu keskmise börsi elektri hinnaga;
- VML2 edastamistasu päevatariif – antud rida esitatakse arvel, kui kasutatakse kahetariifset fikseeritud paketti;
- VML2 edastamistasu öötariif – antud rida esitatakse arvel, kui kasutatakse kahetariifset fikseeritud paketti;
- VML1 kuutasu – võrguühenduse kuutasu 0,4 kV liinil üle 63 A (ühetariifne);
- VML2 kuutasu – võrguühenduse kuutasu 0,4 kV liinil üle 63 A (kahetariifne);
- VML1 – võrguühenduse läbilaskevõime, A-põhine (ühetariifne);
- VML2 – võrguühenduse läbilaskevõime, A-põhine (kahetariifne);
- Elektriaktsiisi määr;
- Taastuenergiatasu määr;
- R5 Reaktiivenergia tarbimine alla 6 kV pingel;
- R6 Reaktiivenergia võrku andmine alla 6 kV pingel.

Lisainfoks veel, et aastatel 2018-2019 kasutati Noorsooteatris fikseeritud hinnaga elektripaketti ning aastatel 2020-2021 kasutati börsihinnaga elektripaketti.

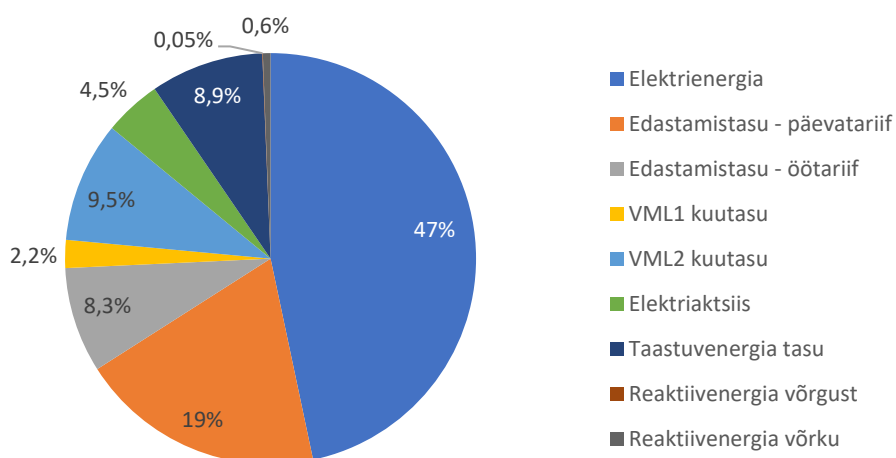
Ülevaate saamiseks koostati iga aasta kohta kuupõhised tabelid (vt Lisa 3, Lisa 4, Lisa 5 ja Lisa 6). Järgnevalt esitatakse aga kokkuvõttev tabel igal aastal elektri eest makstud summadest (vt Tabel 1.1)



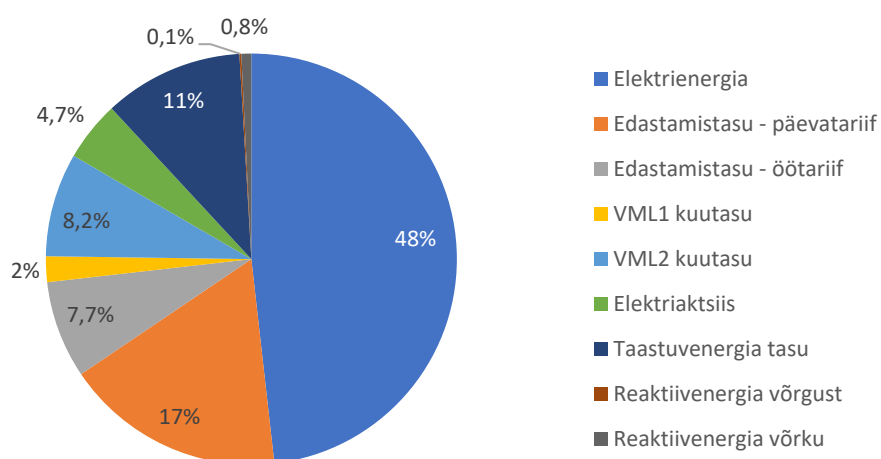
Tabel 1.1 Aastatel 2018-2021 elektri eest makstud rahasummad

Aasta	Rahasumma (€)
2018	28855
2019	27579
2020	22638
2021	37307

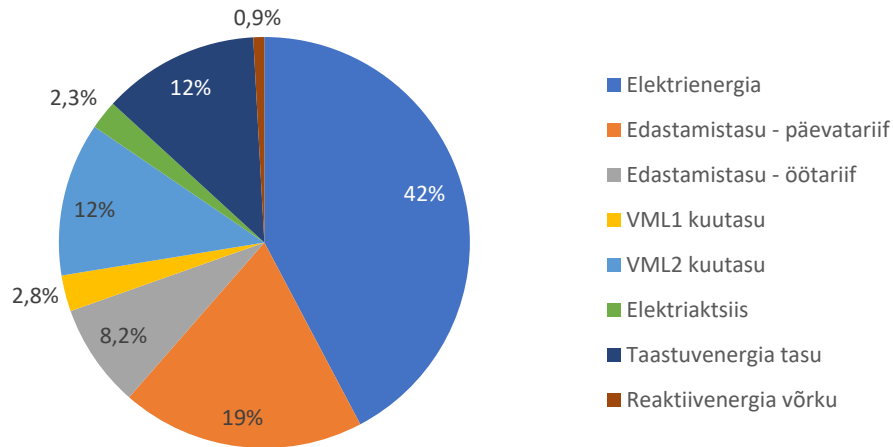
Hüppelist tõusu elektriarvete puhul on näha just aastal 2021. Toimunud tõusu paremaks visualiseerimiseks tuuakse esile iga aasta kohta graafikud, millel esitatakse kõikide elektriarvetel esinevate toodete/teenuste osakaalud kogu elektriarvest (vt Joonis 1.4, Joonis 1.5, Joonis 1.6 ja Joonis 1.7).



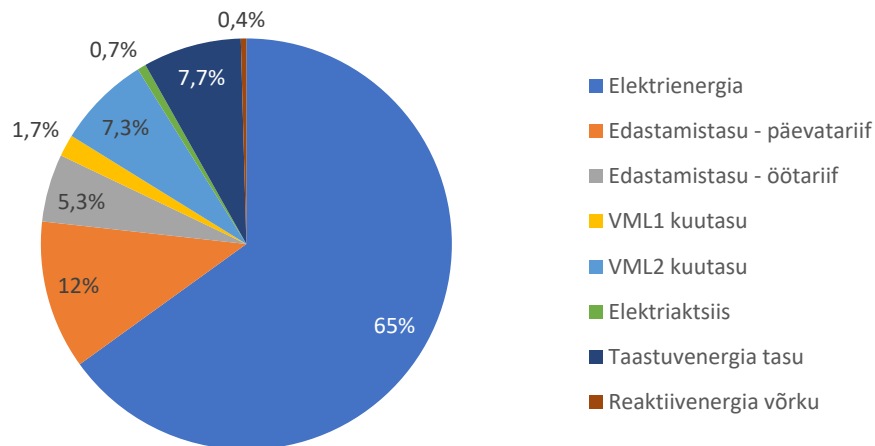
Joonis 1.4 Aasta 2018 summeeritud elektriarvete osakaalud



Joonis 1.5 Aasta 2019 summeeritud elektriarvete osakaalud



Joonis 1.6 Aasta 2020 summeeritud elektriarvete osakaalud



Joonis 1.7 Aasta 2021 summeeritud elektriarvete osakaal

Andmete põhjal võib järeldada, et selgelt suurim ja vast isegi ainus Noorsooteatri elektriarvete tõusmise põhjustaja on olnud elektri börsihinna tõus.

### 1.3.3 Elektripakettide teoreetiline võrdlus

2021. aasta kohta teostatakse elektripakettide võrdlus, kuna just siis hakkasid toimuma ootamatud ja järsud hinnatõusud. Elektripakettide võrdlusportaali andmete järgi oli 2020. aasta lõpu poole (11. novembri seisuga) soodsaim fikseeritud elektripakett päevase elektri hinnaga 6,4 s/kWh ning öise hinnaga 5,7 s/kWh [8]. Vaadates minevikuandmeid (vt Lisa 5) võib näha, et sellel hetkel oktoobri keskmine börsihind

teatri jaoks oli 4,3 s/kWh. Arusaadavalt tunduski siis börsipakett kõige mõistlikum valik olevat.

Tabel 1.2 2021. aasta fikseeritud ja börsipaketi võrdlus

<b>Kalendrikuu</b>	<b>2021. aasta igakuised elektriarved reaalse börsipaketiga</b>	<b>2021. aasta igakuised elektriarved fiktiivse fikseeritud paketiga</b>	<b>Erinevus</b>
jaanuar	2657	2758	-101
veebruar	2465	2426	38,2
märts	1881	2157	-276
aprill	1623	1864	-241
mai	2209	2407	-198
juuni	3126	2801	325
juuli	2537	2011	525
august	2346	1873	473
september	3891	2449	1442
oktoober	3796	2540	1255
november	4267	2645	1622
detsember	6509	2672	3836
Kokku	37307	28605	8702

Tulemused näitavad, et fikseeritud paketiga oleks 2021. aastal pidanud elektri eest 8700 € vähem maksma. See aga ei tähenda, et fikseeritud pakett ka olevikus ning tulevikus soodsam oleks, sest reaalsuses ei ole võimalik ette ennustada, kas tulev aasta toob endaga kaasa poliit-majanduslikke suursündmusi, mis elektri hinna kõrgeks ja volatiilseks muudavad.

Lisaks sellele olid tegelikkuses mitmed eelnevad aastad börsipaketid keskmiselt ikkagi soodsamad, kui samaaegsed fikseeritud paketid [8]. Fikseeritud vs börsipaketi mõistlikkust teatri jaoks visualiseeritakse ka peatükis 2.2.3, kus tehakse võrdlus ja arvutused mõõdetud andmete põhjal.

## **2. ELEKTRILISTE MÕÕTMISTE TEOSTAMINE NOORSOOTEATRIS**

### **2.1 Sissejuhatav info mõõtmiste kohta**

Antud lõputöös kasutatavad mõõteseadmed (vt Lisa 7 ja Lisa 8) võeti Taltech'i elektriliste mõõtmiste laboritest. Tegemist on enamasti alajaamades kasutatavate mõõteseadmetega, seega esinesid teatri elektrikilpides mõõtmiste teostamisega mõned komplikatsioonid. Nimelt on enamikes alajaamade madalpinge jaotusseadmetes olemas voolutrafad.

“Voolutrafo koosneb suletud terassüdamikust, millele on paigutatud kaks mähis. Primaarmähis on enamasti väiksema keerdude arvuga ja ta lülitatakse energiatarbijaga järjestikku juhtmesse, mida mööda voolab mõõdetav vool. Suurema keerdude arvuga sekundaarmähis ühendatakse ampermeetri ja mõõteriistade voolumähistega, kusjuures nad on omavahel lülitatud kõik järjestikku. Voolutrafosid kasutatakse suurte voolude transformeerimiseks mõõteriistadele ja kaitseseadmetele vastuvõetava väärtuseni – üldjuhul 5 A või 1 A.” [9]

Seega mõõteseadmed on mõeldud mõõtma 5 amprit ja mitte rohkem. Teatri elektrikilpides on aga kaitseautomaadid nimivooludega isegi kuni 250 A. Mõõteseadmete jaoks oli vaja nii pinge- (kolm faasi + neutraal) kui ka vooluahelaid. Vooluahelate jaoks kasutati ära jaotuskilbi mõlemasse sektsiooni paigaldatud digitaalsed võrguanalüsaatorid (vt Joonis 2.1), kuna nendesse oli juba ühendatud olemasolevatest voolutrafodest 5 ampri peale muundatud ahelad. Antud juhtmetele sai hõlpsalt ampertangid ümber panna.



Joonis 2.1 Peajaotuskilbi ukssel asuv võrguanalüsaator

Kuna kasutatavate mõõteseadmete arv oli piiratud, siis ei olnud võimalik kogu hoone kõikides punktides mõõtmisi teostada. Seega valiti mõõtmisteks Nunne tn 4 hoone peajaotuskilbi esimene ja teine sektsioon (vt Lisa 9). Selline valik tehti, kuna kõikidest hoone liitumispunktidest on just seal olnud ajalooliselt kõige suurem tarbimine.

Esimene sektsioon hõlmab endas Noorsooteatri suurimat lava ja automaatse tuletõrjesüsteemi juhtkilpi. Tuletõrjesüsteemi juhtkilp on antud mõõtmiste jaoks ebaoluline tarbija, kuna see tarbib lihtsalt automaatikasüsteemi „elus hoidmiseks“ väga väikseid võimsusi. Suurim lava (Ferdinandi saal) on aga vägagi huvitav tarbija, sisaldades suuri ja võimsaid lavaprojektoreid, helitehnikat jne.

Teine sektsioon on mitmekesisem, sisaldades üldtarbijaid, dekoratsiooniladu, tehniku ruumi, puutöökoda, ventilatsiooni ruumi ja ka soojussõlme. Mõõtmiste-eelne eeldus on, et esimeses sektsioonis on katkendlikud ja suured võimsused, kuna tarbimine toimub vaid lava kasutamise ajal. Teises sektsioonis saab tarbimine aga olema ühtlasem.

Mõõtmisi teostati täpselt 7 päeva, 13. aprilli (2022. aasta 15. nädala kolmapäev) keskööst kuni 19. aprilli (2022. aasta 16. nädala teisipäev) päeva lõpuni.

Lõputöö raames oli olulisim jälgida just energiatarvet ja neid mõõttekohtade vahel võrrelda. Nähes erinevate hooneosade energiatarbe osakaalusid kogutarbimisest, saab hinnata, kust on kõige otstarbekam energiasäästu lahenduste teostamisega alustada.

## 2.2 Mõõtetulemused ja nende analüüs

Järgnevalt esitatakse mõõtetulemused mitmete erinevate graafikute ja tabelite näol ning saadud tulemuste põhjal tehakse järeldusi. Käesolevaga tuleb aga arvestada, et mõõteandmed on vaid ühe nädala kohta ning ei anna täiesti terviklikku ja korrektset pilti tarbimismustritest. Kvaliteetsemate andmete jaoks tuleks kindlasti teostada pikaajalisem mõõtmine, ent mingi üldine arusaam peaks ka praegu tekkima.

### 2.2.1 Pinged

Pingete puhul on oluline jälgida, et reaalsed väärtused nimiväärtustest liialt kõrgemale või madalamale ei kalduks. Pingehälbeid sõltuvalt hälbe suunast nimetatakse tavaliselt kas ülepingeteks või alapingeteks.

Pinge on ka otseselt seotud tarbitud energia hulgaga, kuna elektrilise võimsuse valem on [10]:

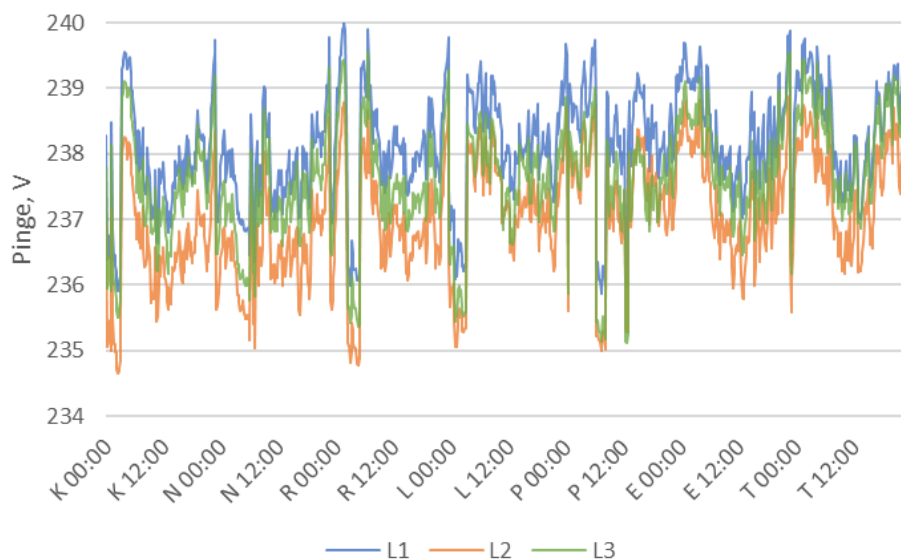
$$S = U \cdot I \quad (2.1)$$

kus  $S$  – näivvõimsus (aktiiv- ja reaktiivvõimsuse vektoriaalne summa, selgitatakse lähemalt alapeatükis 3.1), VA,  
 $U$  – pinge, V,  
 $I$  – vool, A.

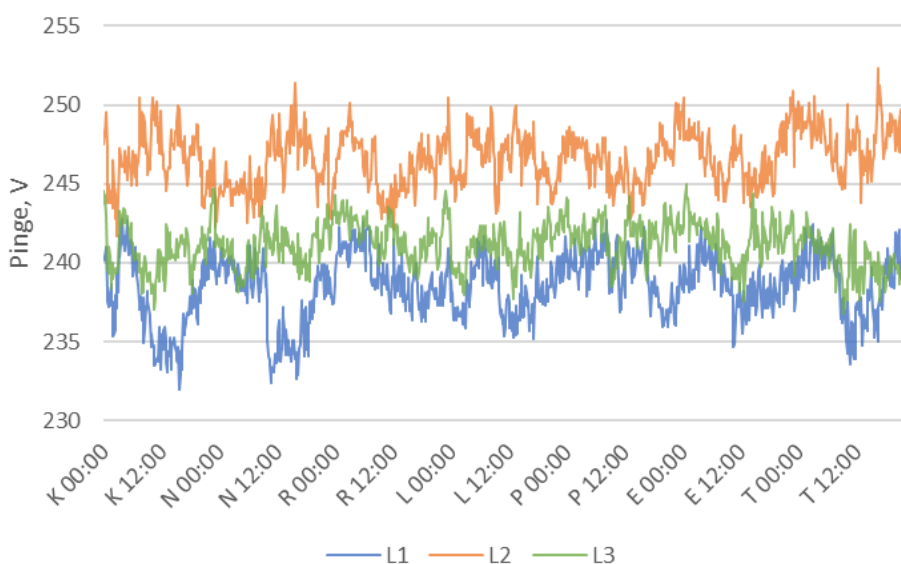
Ülepinge (pinge väärtus üle 110% nimipinge väärtusest) võib põhjustada seadmete ebakorrektselt talitlemist, eluea vähenemist ja halvimal juhul ka tundlike seadmete riknemist. [11]

Alapinge (pinge väärtus alla 90% nimipinge väärtusest) mõjul aga töötavad seadmed vähem efektiivselt ja hakkavad sama võimsusega töötamiseks kasutama rohkem voolu (vt valem 2.1). Elektrimootoritele mõjub see eriti kehvasti, kuna suurenenud voolude mõjul on ülekuumenemine kerge tekkima. [11]

Järgnevalt esitatakse graafikud ja tabel mõõdetud sõlmede pingete väärtuste kohta (vt Joonis 2.2, Joonis 2.3 ja Tabel 2.1).



Joonis 2.2 Pinged esimeses seksioonis 13. – 19. aprill, iga 10 minuti keskmised väärtused



Joonis 2.3 Pinged teises seksioonis 13. – 19. aprill, iga 10 minuti keskmised väärtused

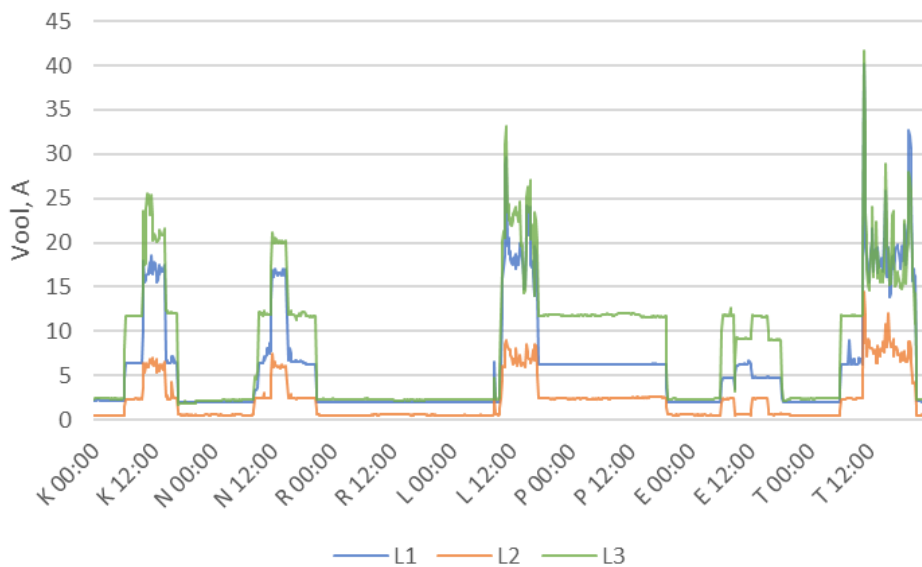
Tabel 2.1 Mõõtepunktide maksimaalsed, minimaalsed ja keskmised pingete väärtused

Kirjeldus	Pinge, V	
	Esimene seksioon	Teine seksioon
L1 max	240,9	245,5
L1 min	229,6	229,0
L1 keskmine	238,1	238,5
L2 max	239,9	255,4
L2 min	232,3	238,0
L2 keskmine	237,0	246,6
L3 max	240,4	248,7
L3 min	232,3	234,0
L3 keskmine	237,6	241,1

On näha, et pingete väärtused on nimipingest (230 V) pigem kõrgemad, seda eriti peajaotuskilbi teise sektsiooni teises faasis, kus pinge oli kogu mõõtmise vältel keskmiselt 246,6 V. Olukorra potentsiaalsest lahendamisest räägitakse lähemalt punktis 3.1.1.

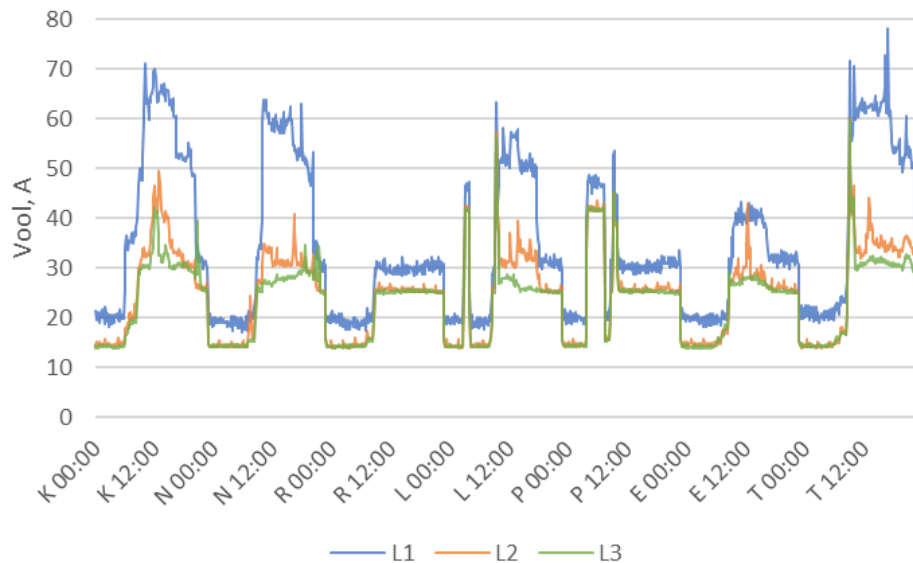
### 2.2.2 Voolud

Mõlemas sektsioonis mõõdeti iga faasi voolusid (vt Joonis 2.4, Joonis 2.5 ja Tabel 2.2). Mõõtes voolusid on võimalik täpselt näha, mis mahus ja kui sümmeetriliselt on faasid koormatud. Faaside ebaühtlane koormatus toob endaga kaasa mitmeid negatiivseid tagajärgi, millest räägitakse lähemalt alapeatükis 3.3.



Joonis 2.4 Voolud esimeses sektsioonis 13. – 19. aprill, iga 10 minuti keskmised väärtused





Joonis 2.5 Voolud teises sektsioonis 13. – 19. aprill, iga 10 minuti keskmised väärtused

Tabel 2.2 Mõõtepunktide maksimaalsed, minimaalsed ja keskmised voolude väärtused

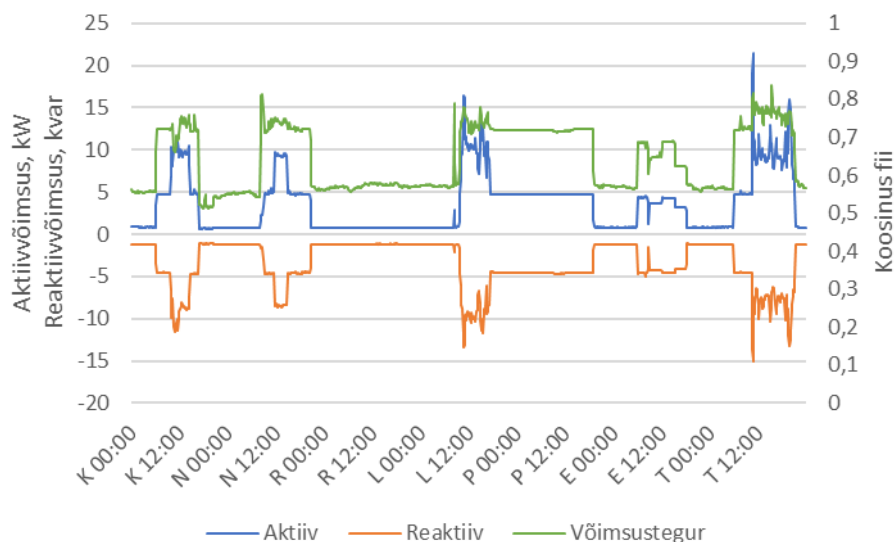
Kirjeldus	Vool (A)	
	Esimene sektsioon	Teine sektsioon
L1 max	45,8	97,6
L1 min	1,85	16,3
L1 keskmine	5,95	34,8
L2 max	17,5	78,1
L2 min	0,337	13,3
L2 keskmine	2,11	24,7
L3 max	46,1	77,6
L3 min	1,49	10,2
L3 keskmine	8,22	23,4

**Esimese sektsiooni** puhul on näha, et maksimaalse tarbimise puhul oli suurim vool vaid 46,1 A; kuigi lava seadmete kaitseks kasutatakse 250 A kaitselüliti, mis tundub praeguste vähete andmete kohaselt üledimensioneeritud olevat. Kui ka pikemaajalisema mõõtmisega saaks kinnitada, et koormusvoolud faasides jäävad kõvasti alla praeguse peakaitse nimivoolu, võib kaaluda võimalust liitumispunktis peakaitse suuruse vähendamiseks.

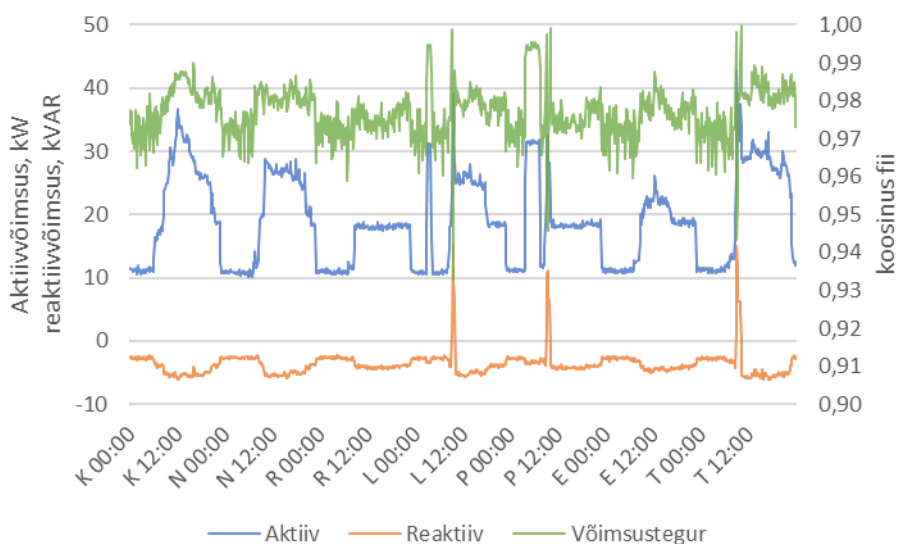
**Teise sektsiooni** puhul on aga näha, et koormused on märksa ühtlasemad ja rohkem tasakaalus. Sellegipoolest on esimene faas rohkem koormatud kui teine ja kolmas. Faaside koormatuse asümmeetria täpsem analüüs teostatakse peatükis 3.3.1. Kindlasti tasub tulevikus mõõtmisi teostada pikemas aja jooksul ja eelistatavalt suurima tarbimisega kuul aastas.

### 2.2.3 Võimsused

Mõlemas seksioonis mõõdeti nii aktiiv- kui ka reaktiivvõimsuseid (vt Joonis 2.6, Joonis 2.7 ja Tabel 2.3). Graafikutele lisatakse paralleelselt võimsustega ka võimsustegur (vt selle täpsemat selgitust alapeatükis 3.1), et visualiseerida teguri muutumist sõltuvalt koormusest.



Joonis 2.6 Võimsused esimeses seksioonis 13. – 19. aprill, iga 10 minuti keskmised väärtused



Joonis 2.7 Võimsused teises seksioonis 13. – 19. aprill, iga 10 minuti keskmised väärtused

Tabel 2.3 Mõõtepunktide maksimaalsed, minimaalsed ja keskmised võimsuste väärtused

	<b>Esimene sektsioon</b>	<b>Teine sektsioon</b>
<b>Kirjeldus</b>	<b>Aktiivvõimsus (kW)</b>	
Max	25,2	55,5
Min	0,58	9,67
Keskmine	3,50	18,9
Summa (kWh)	588	3180
	<b>Reaktiivvõimsus (kvar)</b>	
Max	-1,01	18,3
Min	-20,7	-6,58
Keskmine	-3,50	-3,66
Summa (kvarh)	-587,8	-614,9

Tulemustest on näha, et teises sektsioonis on summaarne energiatarve märkimisväärselt suurem. Kuigi teoreetiliselt võiks siinkohal järeldada, et energiasäästu lahendustega peaks pihta hakkama teisest sektsioonist, on praeguste andmete põhjal keeruline järeldada, millest ikkagi täpselt alustama peaks, sest puudub spetsiifilist info teise sektsiooni tarbijate kohta, ainult summaarne info on teada. Tulevikus peaks kindlasti ka väljunditele eraldi mõõtmised tegema (näiteks vent.ruumi jaoks eraldi, puutöökoja jaoks eraldi jne).

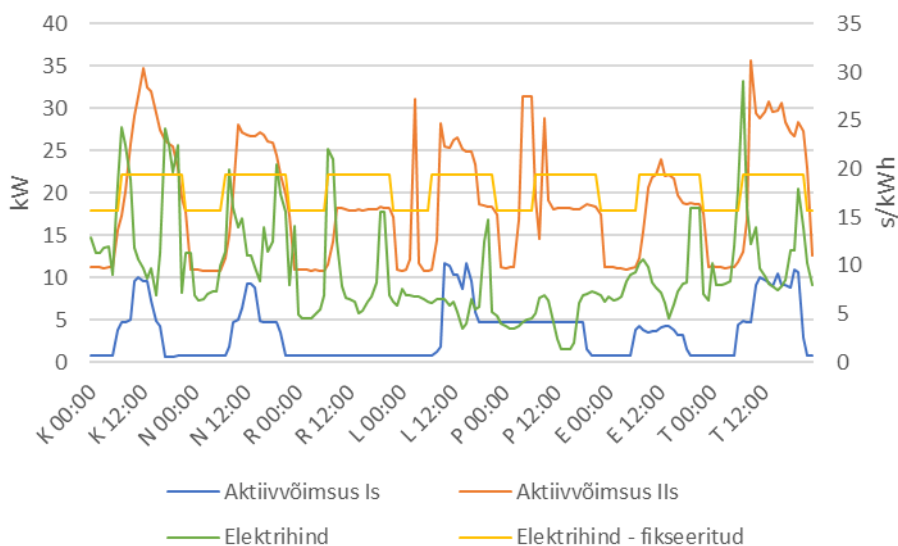
Elering edastas teatrile ka 2022. aasta kohta tarbimisandmed ning nende uurimisel selgus, et Nunne tn 4 PJK esimene sektsioon moodustas mõõtmiste nädalal kogu teatri tarbimisest ~14% ning teine sektsioon ~65%.

Lisaks oli teises sektsioonis huvitav näha lühiajalisi reaktiivvõimsuse piike, kui need hüppasid keskmiselt -3,66 kvar väärtustelt suisa üle 15 kvar väärtusteni. Siin võib olla tegemist mingisuguste võimsate induktiivsete tarbijatega, näiteks puutöökoja masinate elektrimootorid.

#### **2.2.4 Elektripakettide võrdlus mõõdetud võimsuste põhjal**

Püstitatakse hüpotees, et Noorsooteatri ja eeldatavasti ka teiste teatrite jaoks on börsipakett parem valik kui fikseeritud pakett, kuna teatrites toimuvad etendused lisaks päevastele aegadele ka hilisematel kellaaegadel ning ka nädalavahetuseti. Enamus ärisid ja tööstusi aga toimetavad eksklusiivselt päevasel ajal. Seega toimub arvestatav osa teatrite tarbimisest aegadel, kus muu nõudlus elektri järgi on üldiselt madal ning elektrihind on soodsam.

Võrdlusmomendi jaoks leitakse minevikuandmete järgi soodsaim fikseeritud pakett 13. aprilli seisuga. 13. aprilli seisuga tundus soodsaim olevat Eesti Energia ASi pakutud fikseeritud elektrikpakett, mille puhul 13. – 19. aprill oli päevane hind 19,4 s/kWh ning öine hind 15,8 s/kWh [12]. Väite kontrollimiseks esitatakse graafik, kuhu on märgitud nii mõõdetud esimese kui ka teise sektsiooni tarbitud võimsused paralleelselt sama ajaperioodi börsi ja fikseeritud elektrihindadega (vt Joonis 2.8) [13].



Joonis 2.8 Graafik – kumbagi sektsiooni tarbitud võimsused paralleelselt nii börsi kui ka fikseeritud paketi elektrihindadega, tunnipõhised keskmised väärtused

Võib näha, et teatri tarbimise kõrgendikud sattusidki tugevas enamuses just sellistele ajaperioodidele, kus elektri börsihind oli pigem madal. Paremaks visualiseerimiseks esitatakse ka võrdlev tabel (vt Tabel 2.4).

Tabel 2.4 Börsi ja fikseeritud elektrihindade võrdlus Noorsooteatri tarbimise puhul 13. – 19. aprill

Kirjeldus	Börsipakett	Fikseeritud pakett	Erinevus
Keskmine hind, s/kWh	9,39	18,03	8,64
Suurim ühe tunni hind, s/kWh	29,14	19,4	9,75
Väikseim ühe tunni hind, s/kWh	1,31	15,8	14,5
Maksumus kokku, €	360	697	337

Börsipaketiga tuli summaarselt 337 € vähem maksta, seega Käesolevaga saab vähemalt mõõdetud perioodi puhul kinnitada hüpoteesi, et teatri tarbimismustrite puhul on börsipakett parem valik kui samaaegne fikseeritud pakett.

### 3. ELEKTRIKVALITEEDI PARAMEETRID HOONE ELEKTRIPAIGALDISES

#### 3.1 Aktiivvõimsus, reaktiivvõimsus ja näivvõimsus

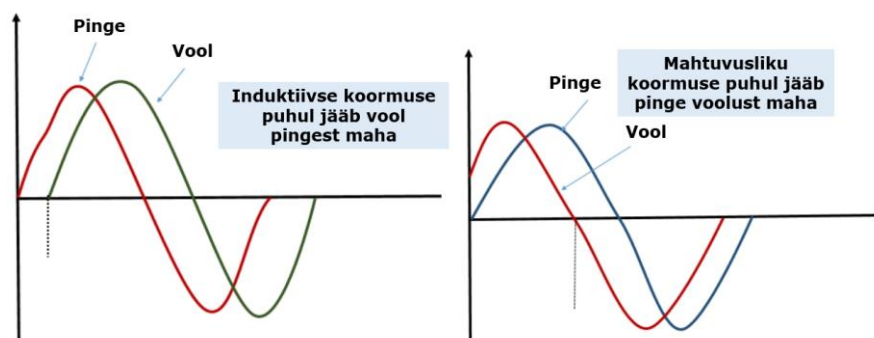
Elektrilisest võimsusest rääkides on kasutusel kolm terminit: aktiivvõimsus, reaktiivvõimsus ja näivvõimsus. Mida need täpselt tähendavad ja mis on nende erinevused?

**Aktiivvõimsus (P)** on võimsus, millega elektriahelas päriselt kasulik töö ära tehakse ehk siis see on selline osa elektrienergiast, mis muundatakse näiteks soojuseks, valguseks või mehhaaniliseks jõuks. Seda mõõdetakse vattides (W). [14]

**Reaktiivvõimsus (Q)** on aga selline võimsus, mida vajavad näiteks mootorid, trafod ja kondensaatorid oma elektri- ja magnetväljade tekitamiseks ja säilitamiseks [15]. See liigub võrgus edasi-tagasi tootja ja tarbija vahel ning põhjustab pingelangu ja voolu tarbimist elektriahela induktiivsetes või mahtuvuslikes komponentides [16]. Seda mõõdetakse ühikutes "voltamper reaktiivi" (var).

Tavapärastelt on tarbijate elektripaigaldised induktiiv-aktiivsed ning vool jääb faasis pingest maha (vt Joonis 3.1). Seda põhjustavadki tüüpilised induktiivsed koormused (näiteks mootorid), mis tarbivad võrgust reaktiivenergiat, et oma magnetvälja tekitada. Elektriarvetel oli see rida "R5".

Kui aga juhtub, et pinge jääb faasis voolust maha (vt Joonis 3.1), on tarbijal mahtuvuslike koormuste osakaal suurem ning reaktiivenergiat hakatakse hoopis võrku andma [15]. Just see toimub ka Noorsooteatris. Kahjuks ei jõutud lõputöö raames välja selgitada, mis teatris reaktiivvõimsuse tootmist täpsemalt põhjustab. Elektriarvetel oli see rida "R6".

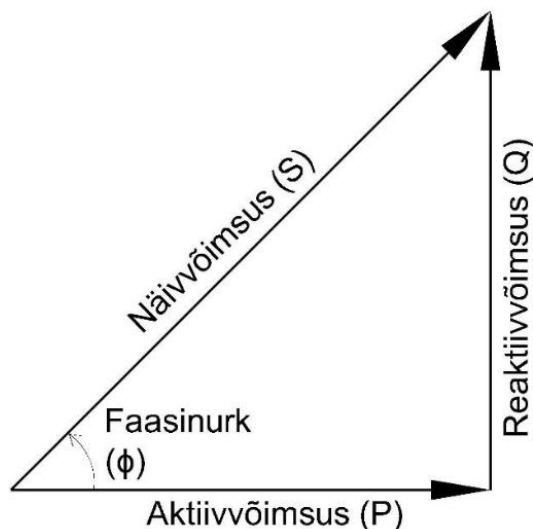


Joonis 3.1 Pinge ja voolu sinusoidid induktiivsete ja mahtuvuslike koormuste puhul [17]

**Näivvõimsus (S)** on aktiiv- ja reaktiivvõimsuse vektorsumma, mida mõõdetakse voltamprites (VA). Näivvõimsust tihtipeale ei kirjeldata seadmete andmelehtedel, ent näivvõimsus on just see parameeter, mille järgi tuleb tegelikult elektripaigaldises dimensioneerida elektrijuhid ja lülitusseadmed.

**Võimsustegur** on aga parameeter, mida tihtipeale kajastatakse seadmete andmelehtedel. Võimsusteguri sümboliks on koosinus  $\cos \phi$  ning mistahes induktiivse iseloomuga seadme, näiteks generaatori või elektrimootori andmesildil võib olla kirjas, et  $\cos \phi = 0,80$ . Võimsustegur näitab aktiivvõimsuse suhet näivvõimsusega ehk siis  $P/S$  [18]. Näiteks, kui seadme tarbitav aktiivvõimsus on 10 kW ning võimsusteguriks on märgitud 0,8, siis antud seadme tarbitav näivvõimsus on  $10 \text{ kW}/0,8 = 12,5 \text{ kVA}$ .

Üks viis, kuidas eri võimsuseid ja nendevahelisi seoseid kirjeldada, on täisnurkse võimsuste kolmnurga abil (vt Joonis 3.2). Antud kolmnurga puhul iseloomustab x-teljega paralleelne kaatet aktiivvõimsuse vektorit ning y-teljega paralleelne kaatet reaktiivvõimsuse vektorit. Sellest tulenevalt tähistab kolmnurga hüpotenuus näivvõimsust. Näha on ka eelnevalt mainitud nurk  $\phi$  aktiivvõimsuse ja näivvõimsuse vektorite vahel. Koosinus sellest nurgast ongi võimsustegur. [19]



Joonis 3.2 Täisnurkne võimsuste kolmnurk [19]

Võib järeldada, et mida rohkem toodetakse või tarbitakse süsteemis reaktiivvõimsust, seda rohkem energiat kulub [20]. Isegi kui aktiivvõimsuse tase jääb samaks, siis näivvõimsus aina suureneb. [21] Näivvõimsust arvutatakse järgneva valemiga:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.1)$$

### 3.1.1 Reaktiivvõimsus Noorsooteatris

Tunnipõhiste tarbimisandmete tabelitest (vt Lisa 1 ja Lisa 2) ja reaktiivvõimsuse tootmise graafikult (vt Joonis 1.3) võib näha, et kuigi võrku toodetud reaktiivvõimsuse kogus tundub iga kuu üsna arvestatav olevat (mõni tuhat kvarti), jäi reaktiivvõimsuse eest tasutud raha osakaal elektriarvetel igal aastal summarselt alla 1%. Võib järeldada, et puhtalt elektriarvete vähendamise eesmärgil ei ole veel mõistlik kompenseerimislahenduse peale mõelda.

Kui reaktiivvõimsuse tarbimise korral tekib elektriahelas suurem pingelang ja pingete väärtused langevad, siis Noorsooteatri puhul toimub mõnevõrra haruldasem nähtus – reaktiivvõimsuse võrku tootmine. Sellel on reaktiivvõimsuse tarbimisele vastupidine efekt – pinged pigem tõusevad üle nimiväärtuste [22]. Teatri elektriarvetel on praegu reaktiivvõimsuse eest makstavad summad tühise osakaaluga, ent kui liiga kõrged pinged hakkavad seadmete tööd häirima või varajast riknemist põhjustama, tuleks kõigele vaatamata mõelda kompenseerimislahenduse peale.

### 3.1.2 Reaktiivvõimsuse kompenseerimine

Kompenseerimisseadmeid on nii mitteautomaatseid kui ka automaatseid (vt Joonis 3.3). Mitteautomaatsete seadmete eelisteks on nende lihtsus ja madal hind. Nende põhikomponentideks on pealüliti, kaitseüliti iga kompensatsiooniaseme kohta jõuahelas, kontaktorid, kondensaatorid (mahtuvuslikud elemendid, mis põhjustavad pinge faasist mahajäämise voolust vastupidiselt induktiivsetele elementidele) ja juhtahela kaitse koos juhtlülititega.



Joonis 3.3 Näited tüüpilistest kompenseerimisseadmetest [34]

Võrreldes aga automaatsete seadmetega on nende puudusteks madalam efektiivsus, vajadus regulaarselt töörežiimi kontrollida ja ka risk üle kompenseerida, mistõttu hakatakse reaktiivvõimsust võrku edastama (mille eest peab veel rohkemgi maksma kui reaktiivvõimsuse tarbimise eest). [15]

Automaatsetel kompenseerimisseadmetel on lisaks mitteautomaatsetes seadmetes sisalduvatele komponentidele olemas ka juhtkontroller. Tänu sellele suudavad automaatsed seadmed lülitada elektrivõrku just parasjagu vajaminev hulk kondensaatoreid, mistõttu on ala- või ülekompenseerimine vähem tõenäoline. [15]

Kõige olulisem seade ongi nende puhul juhtimisseade, tüüpiliselt võimsusteguri kontroller (vt Joonis 3.4). Kompenseerimisseade arvutab välja võrgu võimsusteguri väärtuse. Kui väärtus on liialt madal, lülitatakse sisse järgnev kompenseerimisaste. Kui väärtus on aga liiga kõrge ehk toimub ülekompenseerimine, hakatakse astmeid välja lülitama. Igat astet iseloomustab mingisugune reaktiivvõimsuse väärtus kvar-ides. [15]



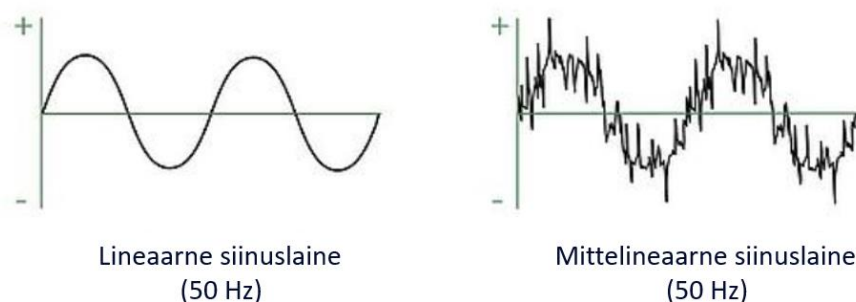
Joonis 3.4 Näide võimsusteguri kontrollerist – *Power Factor Controller CX plus* [15]

Kuigi enamjaolt on tarbijate probleemiks reaktiivvõimsuse võrgust tarbimine, võib juhtuda ka vastupidine olukord, kus reaktiivvõimsust hoopis toodetakse võrku. Just see toimubki ka Noorsooteatris. Sel juhul peaks kompenseerimiseks kondensaatorpankade asemel kasutama hoopiski reaktoreid, mis on induktiivsed elemendid [23]. Reaktorid „tarbivad“ koormuste poolt toodetava reaktiivvõimsuse ise ära nii, et see võrku ei jõuagi ja selle tagajärjel langeb ka tarbijate jaoks pinge normaalsemale tasemele [23].



## 3.2 Harmoonmoonutus

Ideaalsetes oludes on vahelduvvoolu puhul pingesignaal ideaalse siinuselise kujuga ja seda iga tarbija jaoks. Päriselus see tihtipeale nii aga ei ole ja lainekuju on moonutatud (vt Joonis 3.5). Pinge- ja voolulainekujude erinevust ideaalsest siinuskujust nimetataksegi lainekujumoonutuseks või siis harmoonmoonutuseks. [24]



Joonis 3.5 Ideaalne ja moonutatud siinuslaine

Kuidas aga tekivad elektrisüsteemi harmoonikud? Minevikus olid peamised harmoonikute tekitajad küllastuses töötavad trafod (seisund, kus trafo opereerib oma nimipingest või -võimsusest kõrgemal), ent tänapäeval on süüdlasteks pigem jõuelektroonika seadmed [24]. Mõned näited harmoonikute tekitajatest on [24]:

- pöörlevad masinad, kus esineb asümmeetriat näiteks staatoris, rootoris või mähiste struktuuris või kus magnetsüdamik töötab küllastuses, nagu trafodegi puhul juhtuda võib;
- mistahes muunduriseadmed (mis näiteks muundavad vahelduvvoolu alalisvooluks), sealhulgas ka sagedusmuundurid;
- luminofoorvalgustid oma ballastidega;
- tööstuslikud elektriühendid.

Harmoonmoonutuse põhjustatud negatiivsed tagajärjed on näiteks [24]:

- jaotustrafode mähiste potentsiaalne ülekuumenemine, millega kaasneb ka trafode isolatsiooni kiirem vananemine;
- elektripaigaldises neutraaljuhi ülekoormamine;
- kondensaatorpankade eluea vähenemine;
- luminofoorlampide värelemine (silmi häiriv ja väsitav nähtus);
- häiringud telefoniliinides;
- elektrimootorite eluea vähenemine põhjustatud nende mähiste rohkemast kuumenemisest või pulseerivatest momentidest;
- generaatorite töö häirimine;

- vajadus elektri juhte suuremaks dimensioneerida, et need harmoonikute põhjustatud lisakuumenemist ära kannataks;
- kuigi see on veel uurimisel, võivad harmoonikud mõjutada ka energiamõõteseadmete tööd ja täpsust.

On näha, et harmoonikute tekitajaid on mitmeid ja nende negatiivseid mõjusid elektripaigaldistele veelgi enam. Mida saab üks elektritarbija harmoonikutega ette võtta?

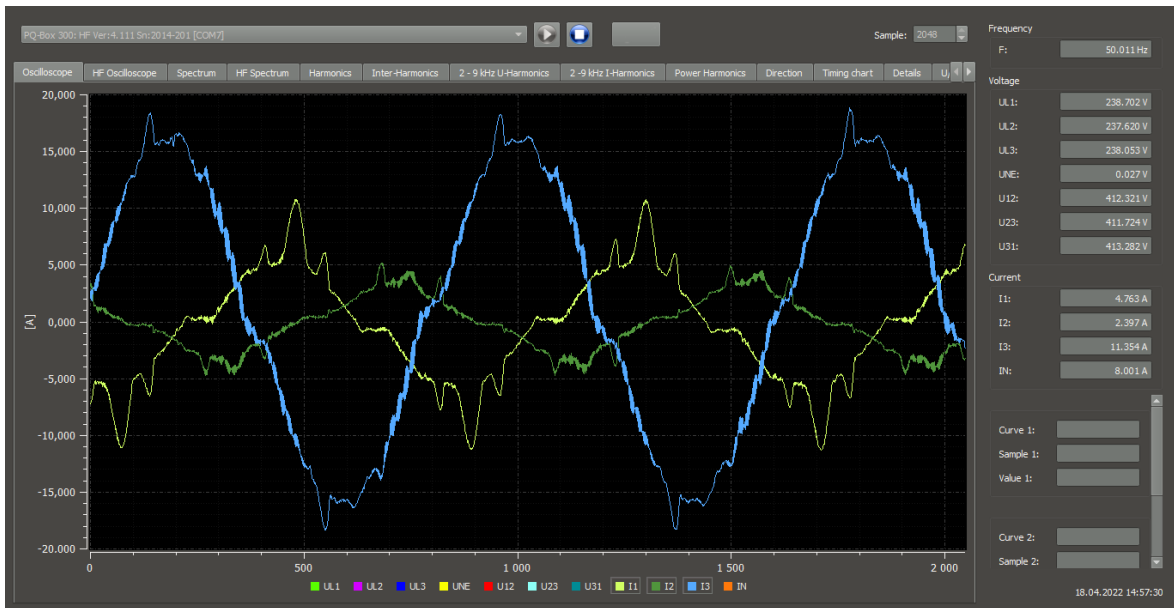
Kui mõõtmine on teostatud ja harmoonmoonutuse ulatus on teada, on võimalik üles seada harmoonikute filtreid. Filtreid on olemas nii passiivseid kui ka aktiivseid. Passiivsed filtrid on sellised elemendid, mis lihtsalt pakuvad harmoonikutele madala takistusega teekonna näiteks maandusesse. Aktiivsed filtrid aga jälgivad elektripaigaldise harmoonikute spektrumi hetkeseisundit ja süstivad võrku täpselt vastupidiseid harmoonikuid, et olemasolevaid neutraliseerida. Tüüpiliselt paigaldatakse harmoonikute filtrid üheskoos reaktiivvõimsuse kompenseerimise seadmetega. [24]

Lisaks filtritele võib harmoonikute vähendamiseks elektripaigaldises ka [24]:

- võrgu topoloogiat muuta ehk suurimad mittelineaarsed koormused paigaldada ühte või mitmesse eraldi fiidritesse, et vähendada vastasel korral harmoonikute poolt põhjustatud pingelangusid;
- tõsta toiteallikate jäikust ehk siis saadavaloleva lühisvoolu ja koormusvoolu suhet. See juhtub näiteks kui elektripaigaldist toitvat alajaama suurendatakse või kui elektripaigaldisse lisatakse eraldi uus toiteallikas, näiteks generaator;
- elektripaigaldises jadamisi reaktoreid kasutada;
- faaside koormused võimalikult sümmeetriliseks muuta (sellest räägitakse lähemalt punktis 3.3).

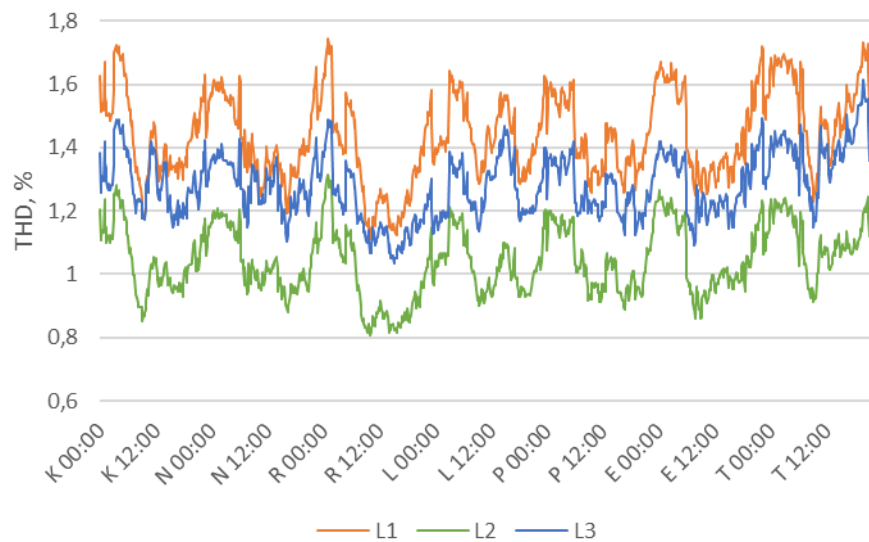
### **3.2.1 Harmoonmoonutus Noorsooteatris**

Kohapealsete mõõtmiste käigus (vt peatükk 2) mõõdeti seadmetega mõlemas sektsioonis ka harmoonmoonutust. Esimeses sektsiooni mõõtmiseks kasutatava seadme ekraanilt sai keset mõõtmist jäädvustatud üks pilt (vt Joonis 3.6), kust võib näha kolme faasi moonutatud siinuslaineid.

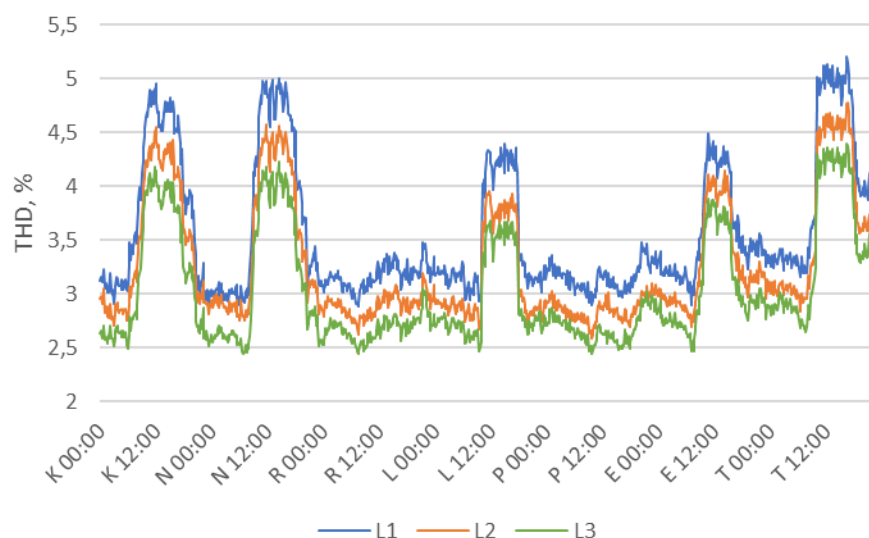


Joonis 3.6 Mõõteseadme PQ-Box 300 ekraanilt jäädvustatud pilt harmoonmoonutuse kohta

Mõõtetulemuste analüüsi lihtsustamiseks ja üldistamiseks kasutatakse harmoonmoonutuse iseloomustamiseks vaid parameetrit THD (*Total Harmonic Distortion* ehk summaarne harmoonmoonutus). Järgnevalt esitatakse mõlema mõõdetud sektsiooni harmoonmoonutuse graafikud (vt Joonis 3.7 ja Joonis 3.8).



Joonis 3.7 Harmoonmoonutus esimeses sektsioonis 13. – 19. aprill, iga 10 minuti keskmised väärtused



Joonis 3.8 Harmoonmoonutus teises sektsioonis 13. – 19. aprill, iga 10 minuti keskmised väärtused

Standardis EVS-EN 50160:2010 on defineeritud, et tarbija THD ei tohi ületada väärtust 8% [25]. Graafikutelt võib näha, et THD jäi mõlemas sektsioonis piisava varuga alla 8%, seega võib öelda, et harmoonmoonutuse likvideerimiseks ei ole veel kohustuslik paigaldada filtreid.

### 3.3 Ühefaasiliste koormuste asümmeetria

Peaaegu kõikides kolmefaasilise toitega hoonetes leidub ühefaasilisi koormusi ja nende koormuste osakaal sõltub hoone tüübist. Näiteks võib tööstustes olla kolmefaasiliste koormuste osakaal väga suur, kuna seal kasutatakse rohkem suuremaid ja võimsamaid seadmeid.

Tavalisemad, vähem võimsad seadmed on aga enamjaolt ühefaasilised ja üks oluline faktor, mida arvestada, on nende koormuste tasakaal faaside vahel. Ideaalis võiksid hoone elektripaigaldises kõik kolm faasi võrdselt koormatud olla [26]. Reaalsuses on seda aga tihtipeale võimatu saavutada, kuna ühendatud seadmed on erinevate võimsustega ja neid kasutatakse erinevatel aegadel. Seega võib näiteks eesmärgiks võtta, et voolude tasakaalutus ei ületaks elektripaigaldises 10%. Voolude tasakaalutuse protsenti arvutatakse järgneva valemiga [26].

$$I_u = (I_d \cdot 100)/I_a \quad (3.2)$$

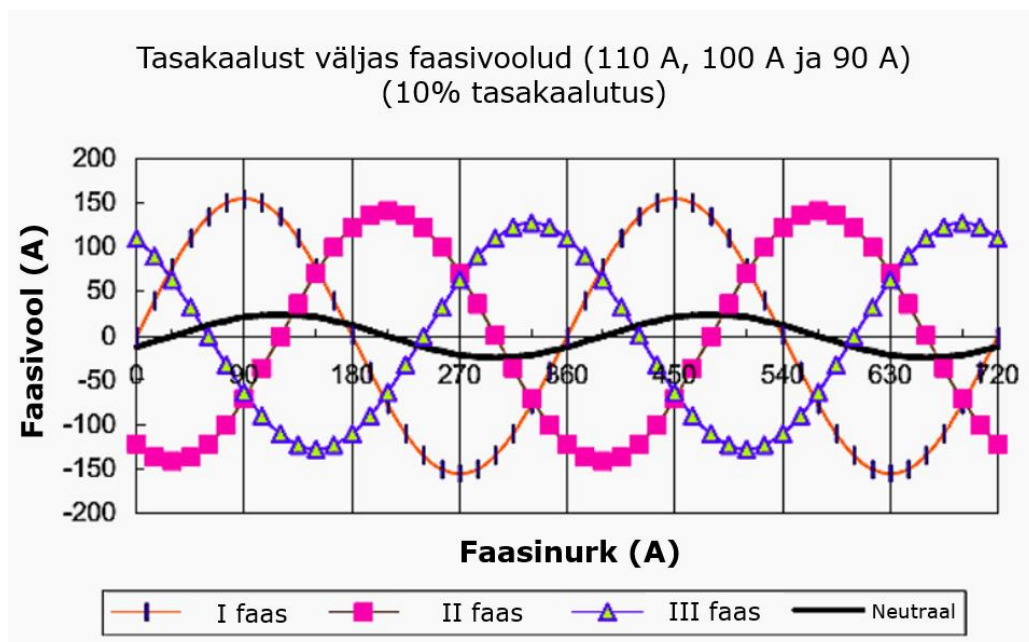
kus  $I_u$  – voolude tasakaalutuse protsent, %,  
 $I_d$  – suurim voolu hälve keskmisest voolust, A,  
 $I_a$  – kolme faasi keskmine vool, A.

Kui kolmefaasilises süsteemis on koormused ebavõrdselt jaotatud, tekivad eri faaside voolujuhtides ebavõrdsed voolud ja toitekohas faasidevaheliste pingete erinevused. [26]

Kui see juhtub, siis negatiivsed tagajärjed on näiteks [26]:

- täiendavad võimsuskadud ja pingelang neutraalijuhis;
- võrgu pool kolme faasi pingete tasakaalutus;
- suurem oht asünkroonmootoritele üle kuumeneda;
- kõrgeenenud risk elektromagnetiliste häiretele tundlike seadmete jaoks;
- suuremad vead/hälbed elektrilistes mõõtmistes.

Järgnevalt esitatakse olukorra parema visualiseerimise eesmärgil üks näidisgraafik kolme faasi voolude sinusoididest, kus esineb 10% tasakaalutust – vool esimeses faasis on 110 A, teises faasis 100 A ning kolmandas faasis 90 A (vt Joonis 3.9).



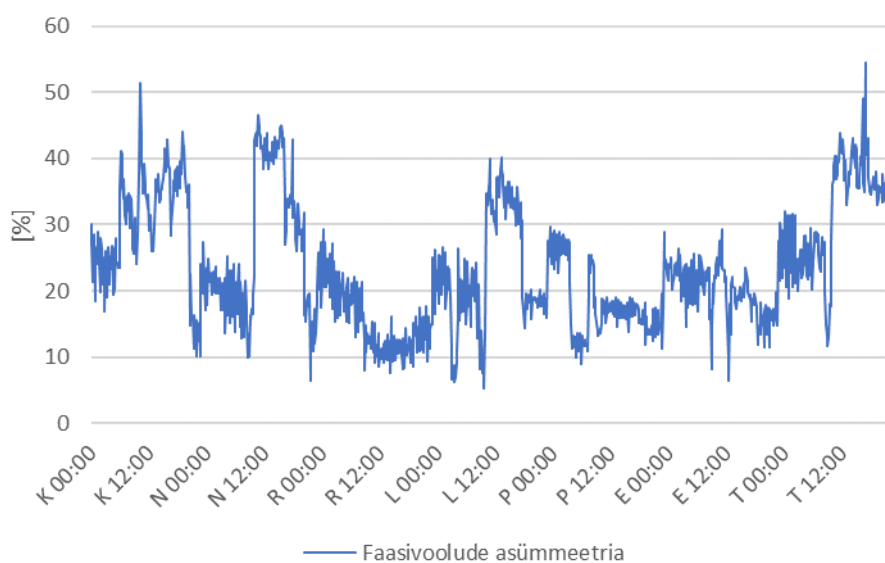
Joonis 3.9 Näidis tasakaalust väljas olevatest faasivooludest

On näha, et faasivoolude tasakaalutuse tõttu on ka neutraalijuhis tekkinud vool suurusega ~17 A, mis põhjustabki lisanduvaid vaseskadusid (kaod trafodes ja

elektrijuhtides, mis on põhjustatud koormusvoolu ja elektrijuhi takistuse tõttu) [26], [27]. Mida suurem on faasivoolude omavaheline erinevus, seda suuremad on kaod.

### 3.3.1 Faasidevahelise asümmeetria arvutamine Noorsooteatris

Ka Noorsooteatri faasivoolude asümmeetriat on võimalik välja arvutada tänu saadud mõõtetulemustele. Selleks summeeritakse mõlema sektsiooni iga ajahetke koormusvoolud ning leitakse igal ajahetkel hälve keskmisest voolust (vt Joonis 3.10).



Joonis 3.10 Graafik Noorsooteatri Nunne tn 4 peajaotuskilbis faasivoolude asümmeetriast

Maksimaalne hetkene esinenud asümmeetria oli 54,5%; minimaalne 5,34% ning keskmine 23,4%.

Järgnevalt leitakse lihtsustatud arvutuse abil säärase asümmeetria poolt põhjustatud vaseskaod. Faasivoolude ja takistuste kaudu saab võimsuskadusid arvutada järgneva valemiga. [26]

$$P_{\Sigma} = (I_{L1}^2 \cdot R_{L1}) + (I_{L2}^2 \cdot R_{L2}) + (I_{L3}^2 \cdot R_{L3}) \quad (3.3)$$

kus  $P_{\Sigma}$  – summaarne võimsuskadu, W,

$I_{L1(2,3)}^2$  – vastava faasi koormusvool ruudus, A,

$R_{L1}$  – vastava faasi ahela takistus,  $\Omega$ .

Näiteks ühel mõõdetud ajahetkel, mil faasidevaheline asümmeetria oli 23,4%, oli vool esimeses faasis 23,4 A; teises faasis 16,8 A ning kolmandas faasis 6,6 A. Ideaalse sümmeetria puhul oleks igas faasis täpselt keskmine väärtus: 15,6 A. Neid kahte olukorda ning nende vastavaid võimsuskadusid võrreldakse järgnevalt (vt Tabel 3.1). Et näidise puhul arvutust lihtsustada, määratakse kõikide ahelate takistuseks lihtsalt üks oom.

Tabel 3.1 Võrdlev näidisarvutus sümmeetriliselt ja asümmeetriliselt koormatud faaside poolt põhjustatud vaseskadudest

	<b>Voolud faasides sümmeetrilised</b>	<b>Voolud faasides asümmeetrilised</b>
Vool esimeses faasis, A	15,6	23,4
Vool teises faasis, A		16,8
Vool kolmandas faasis, A		6,6
Liinide takistus, $\Omega$	1	
Võimsuskad, W	730	873
Vaseskadude erinevus, %	19,6	

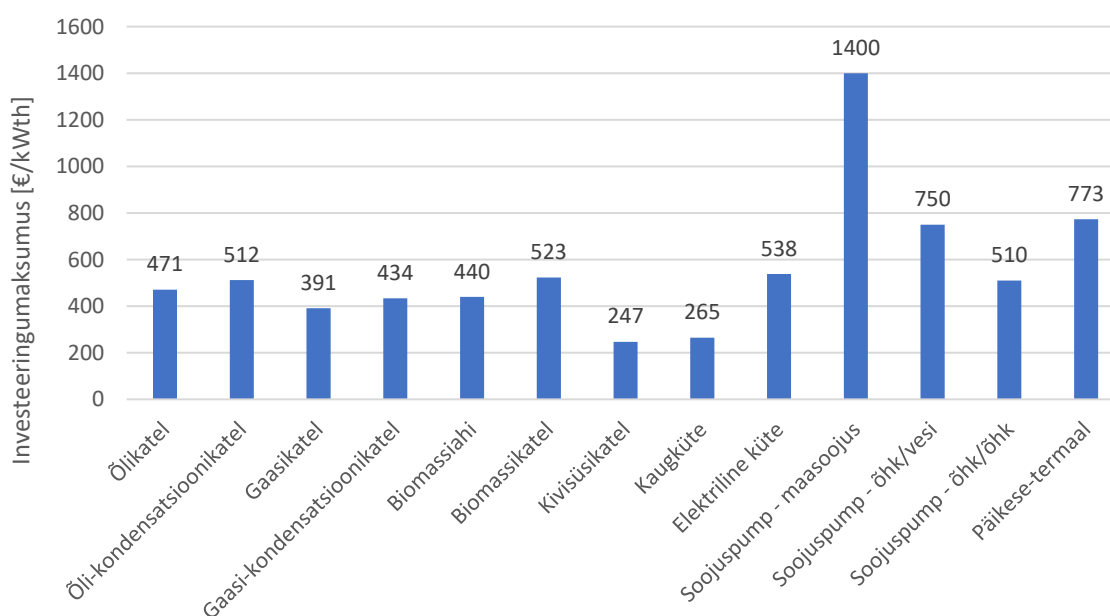
On näha, et 23,4% tasakaalutusega on vaseskaod keskmiselt 19,6% suuremad kui sümmeetriliselt koormatud faaside puhul. Siinkohal tasuks teatris mõelda koormuste ümber tõstmisele faaside vahel, et asümmeetriat vähendada.

## 4. KÜTE, JAHUTUS JA VENTILATSIOON

### 4.1 Küte

Eurostati andmetel moodustab Euroopas, välja arvatud Vahemere-äärsetes riikides, siseõhu kütmine 60-80% ehitiste energiakulust [6].

Küte alati ei pruugi, aga tihtipeale on seotud ka elektriarvetega. Ehitiste puhul, kus kaugkütet ei kasutata, on oluline põhjalikult analüüsida erinevate kütetehnoloogiate maksumusi. Näiteks on 2017. aastal Euroopa Komisjoni poolt tellitud uurimus, kus võrreldi erinevate kütetehnoloogiate investeeringu ja operatiivmaksumusi ühe saadava sooja kW kohta (vt Joonis 4.1).



Joonis 4.1 Erinevate kütetehnoloogiate investeeringumaksumused (€/kWth) [28]

Tabelis kajastatud infosse tuleks üldpildis suhtuda kriitiliselt, kuna tegemist on Taani Energiaagentuuri 2016. aasta andmetega ning hinnad võivad tänaseks olla väga erinevad. Samuti võivad kajastatud hindades juba riigiti esineda suured erinevused. Kõige täpsema info saab ikkagi seadmete tootjatelt ja oma ala ekspertidelt või konsultantidelt.

Lisaks investeeringumaksumusele tuleks ka operatiivkulud välja arvutada ja seda peaks tegema suheldes erinevate seadmete tootjatega ja arvestades aktuaalseid kütuste või elektri hindu. Samuti tasub prognoosida potentsiaalseid kütuste või elektri

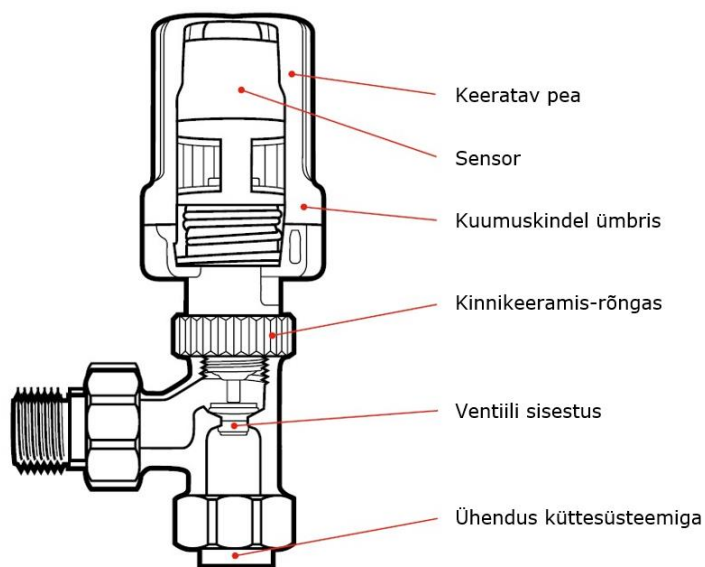


hinnamuutuseid tulevikus. Siis saab iga seadme eluea kulutustest kõige selgema pildi ette.

Paljudel suurtematel hoonetel aga, eriti tihedamini asustatud linnades, on olemas kaugkütte kasutamise võimalus ning see on üks soodsamatest ja tarbija jaoks logistiliselt lihtsamatest meetoditest hoone kütmiseks [29].

#### 4.1.1 Siseõhu kütmine Noorsooteatris

Noorsooteatris kasutataksegi eelnevalt mainitud kaugkütet, seega on teatril võimalusi tarbimise optimeerimiseks ja juhtimiseks üsna vähe. Kogutud info kohaselt on teatris kasutusel radiaatorküte ning soojasõlmed on seatud automaatselt hoidma temperatuuri 22 °C, kusjuures radiaatoreid on võimalik eraldi käsitsi reguleerida nende küljes olevate termoventiilide abil (vt Joonis 4.2).



Joonis 4.2 Foto tavalisest radiaatori termoventiilist [30]

Radiaatori termoventiil töötab väga lihtsalt põhimõttel – tegemist on vedela materjali või vahaga täidetud silindriga, mis sõltuvalt õhutemperatuurist paisub või tõmbub kokku ja suurendab või vähendab survet tihvtile, et ventiilist lastaks rohkem või vähem küttevett läbi. [30]

Reguleerimise võimalust tuleks loomulikult ära kasutada, kuna iga alla reguleeritud radiaatori pealt tekib mingisugune energiasääst. Küttesüsteemi puhul võib iga allareguleeritud kraad anda isegi kuni 8% energiasäästu [3]. Tüüpiliselt ongi hoonetes

erinevates tubades erinevad eelistatavad temperatuurid. Mõistagi tuleks vältida olukorda, kus mingit tuba köetakse nii palavaks, et jahutamiseks avatakse aken. Siin on oma roll muidugi ka ventilatsioonil, mida käsitletakse hilisemas alapeatükis 4.3.

Veidi ekstreemsema meetmena võib uurida, kas ehk oleks võimalik radiaatoreid asendada põrandaaluse küttevõetorude süsteemiga (vt Joonis 4.3). Kõiki radiaatoreid ei pea kusjuures korruga välja vahetama, sest süsteemid võivad ka paralleelselt töötada [31].

Põrandaalustel küttevõetorudel on radiaatorite ees mitmeid eeliseid [31]:

- olulisim erinevus on, et põrandaalused küttevõetorud vajavad samasuguse soojuse eraldamiseks märgatavalt madalama temperatuuriga vett ning on seetõttu vähemalt 25% energiatõhusamad;
- kütmine toimub võrreldes radiaatoritega kogu ruumi ulatuses ühtlasemalt, mistõttu ei jää ruumides ükski koht jahedamaks;
- need on lihtsasti integreeritavad ka teiste küttesüsteemidega ning on eriti tõhusad näiteks soojuspumpadega süsteemides, kuna soojuspumbad tüüpiliselt suudavadki tekitada mitte eriti tulist küttevett.



Joonis 4.3 Põrandaalused küttevõetorud vs radiaatorid [31]

#### 4.1.2 Kõnnitee ja vihmaveerennide küttekaablid (jääsulatus)

Noorsooteatris on küttekaablid paigaldatud vihmavee äravoolurennidesse ning hoone õues asuva peasissekäigu hoovi põrandale ja treppidele (vt Joonis 4.4), et talvel ära hoida inimeste jaoks libeda tee ja jääpurikate teket.



Joonis 4.4 Noorsooteatri peasissekäik/hoov

Jääsulatuskaablite puhul tuleb kindlasti kontrollida nende termostaate ehk et kas sätted on paigas nii, et küttekaablid ei töotaks soojade ilmadega või selliste miinuskraadidega, mille puhul need enam jääd sulatada ei suudagi.

#### 4.1.3 Tarbevee kütmine

Tarbevee kütmine moodustab majapidamistes Eurostati andmetel ligikaudu 14,8% energiatarbest [32]. Kommertshoonetes on see protsent muidugi väiksem, kuna tegemist on majapidamistest tüüpiliselt suuremate hoonetega ja kütte/jahutuse ning valgustuse osakaal on neis palju suurema osakaaluga.

Noorsooteatris koetakse tarbevett hoones enamjaolt kaugkütte soojasõlmest, ent Lai 1 tn hoones kasutatakse mitmeid väikseid elektriboilereid, peamiselt kätepesuks. Elektriboilerite kasutamisega on olemas mitmeid võimalusi elektritarvet vähendada:

Termostaadi (vt Joonis 4.5) sätte vähendamine on üks esimesi ja lihtsamaid tegevusi. Iga vähendatud kraad tähendab energiasäästu ja nagunii ei peagi sooja vee maksimaalne temperatuur olema valusalt kõrvetav. [33]



Joonis 4.5 Elektrilise boileri reguleeritav termostaat [34]

Boileri õige dimensioneerimine on samuti oluline. Inimestel võib näiteks olla arusaam, et mida väiksem boiler, seda vähem elektrit see tarbib. Paraku aga on aladimensioneeritud boileri puhul küttekeha pidevalt märksa rohkem koormatud ja elektrikulud hoopis tõusevad. Suurema boileri puhul elektrikulu pigem väheneb. [33]

Boilerisse tekkival katlakivil tuleks silm peal hoida, eriti kareda veega piirkonnas. Vee soojendamisel kristalliseeruvad selles sisalduvad mineraalid ning need settivad boileri põhja. Mida rohkem setet koguneb, seda vähem tõhusamalt hakkab boiler töötama. Lihtsaim on jälgida boileri tootja juhiseid ja hooldusgraafikut. [33]

Lisaks veel tasub üle vaadata isolatsioon, nii boileri enda kui ka veetorude oma. Kuna torude isoleermaterjal ja selle paigaldamine on suhteliselt odav, on tegemist lihtsa viisiga vähendada energiakadusid süsteemis. [33]

Võimalusel võib kaaluda hoopis läbivooluboileri soetamist. Läbivooluboileri eelis klassikalise paagiga boileri ees on kadude vähenemine. Ükskõik kui hea on boileri paagi isolatsioon, siis mingisugune hulk soojust lekib ikka välja ja sellevõrra peab kütteelement rohkem tööd tegema. Teisalt aga on läbivooluboileri puhul esialgne investering märksa suurem. [33]

## 4.2 Jahutus

Energiatarbe seisukohast lüüakse tihtipeale ventilatsioon ja jahutus kokku ühte rühma ning teatrites võiks see energiatarbest keskmiselt moodustada ligikaudu 30% [3], [35]. Kuigi tavapäraselt loetletakse statistikat büroohoonete kohta, võib spekuloida, et teatrites on jahutuse ja ventilatsiooni osakaal büroohoonete omast suurem, kuna teatrutes on ka suured etendussaalid, kus peab samuti suures mahus siseõhu kvaliteeti säilitama.

Käesolevaga käsitletakse neid jahutussüsteeme, mis on mõeldud inimeste jaoks mugava siseõhu temperatuuri saavutamiseks palavate ilmadega (mitte külmkapid jm). Jahutussüsteemid jaotatakse passiivseteks ning aktiivseteks [36]. Passiivse jahutuse alla kuuluvad näiteks [36]:

- loomuliku ventilatsiooni kasutamine;
- soojusmassi (materjal, mille abil saab neelata, salvestada ja vabastada soojusenergiat) ära kasutamine;
- vee aurustumise kasutamine jahutamiseks (näiteks väikeste tehislise siseveekogude abil);
- kõiksuguste varjutusmehhanismide, peegeldavate pindade, isoleermaterjalide või ka rohekatuste kasutamine.

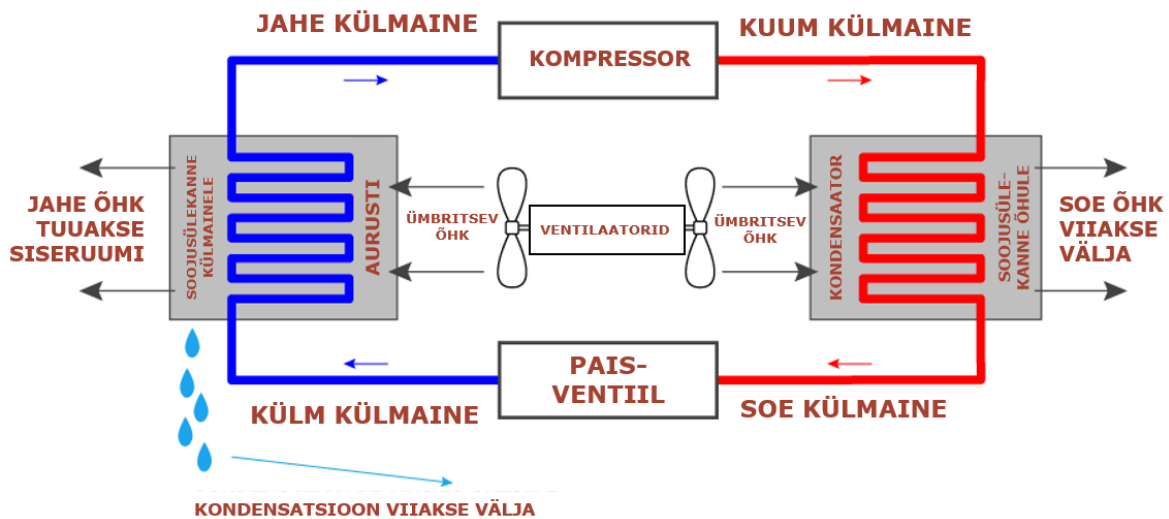
Aktiivse jahutuse tehnoloogiate alla aga kuuluvad näiteks [36]:

- maa-õhk soojusvahetid;
- vesi-õhk soojusvahetid;
- mehhaaniline ehk sundventilatsioon;
- jahutatud vesi;
- külmaaine kasutamine;
- veepiisku eritavad ventilaatorid.

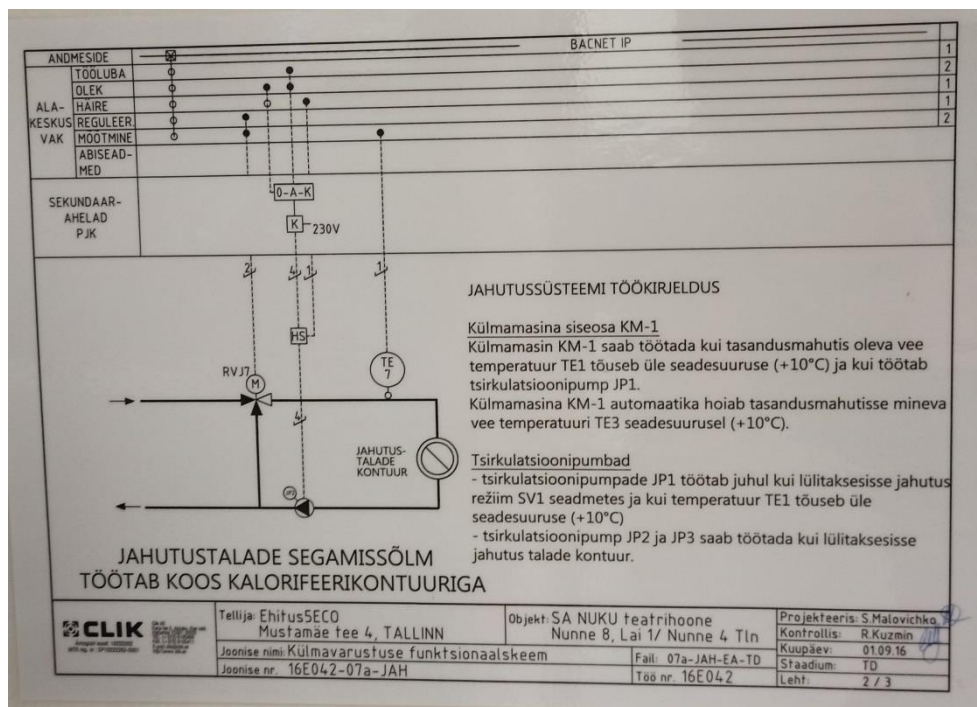
Aktiivsete süsteemide puhul on mõistagi oluline see, kuidas neid juhitakse.

### 4.2.1 Jahutus Noorsooteatris

Noorsooteatris on kasutusel suur, keerukas ja tsentraalne Siemensi jahutussüsteem (vt Lisa 10). Tegemist on mõistagi aktiivse jahutussüsteemiga, mis töötab kompressorite abil, kus tänu külmaaine manipuleerimisele viiakse soojus siseõhust välja (vt Joonis 4.6 ja Joonis 4.7).



Joonis 4.6 Lihtsustatud skeem tavalise kompressoriga jahutusseadme tööpõhimõttest [37]



Joonis 4.7 Noorsooteatri Siemensi jahutussüsteemi töökirjeldus

Noorsooteatris on kõige prioriteetsem jahutada just etenduslavasid, kuna palavate ilmade puhul sõltub sellest suuresti näitlejate ja publiku heaolu. Jahutussüsteemi juhtimine käib välistemperatuuri järgi ning kogutud info kohaselt ei kasutata hetkel jahutuse juhtimiseks ühtegi ruumi-sisest termostaati.

Ilma jahutussüsteemi siseellu süvitsi süvenemata on ka keeruline väga täpseid soovitusi või lahendusi jagada, ent üldpõhimõtteliselt oleks parim maksimaalselt hoonesiseseid temperatuurandureid kasutada, et minimeerida ala- või ülejahutamise võimalust.

## 4.3 Ventilatsioon

Ventilatsiooni üldeesmärk on hoonesse värske välisõhu sisse toomine ning vana ja saastunud õhu välja viimine [38].

Ventilatsioonisüsteemi valimisel on üldiselt vaja arvestada kolme parameetriga [38]:

- ventilatsiooni aste – välisõhu kogus, mida hoonesse sisse tuuakse ja selle õhu kvaliteet;
- õhuvoolu suund – üldine õhuvoolu suund hoones, mis peaks olema puhastest tsoonidest mustemate tsoonideni;
- õhujaotus – välisõhk peab igasse hoone ossa jõudma tõhusalt ja hoones tekkivad saasteained tuleb ka välja viia tõhusalt.

Vastavalt nõutavatele parameetritele on enamjaolt valida järgnevate süsteemide vahel [38], [39]:

- naturaalne ventilatsioon – välisõhu juhtimine toimub tänu looduslikele jõududele (nt tuuled, sise- ja välisõhu tiheduste erinevusest tulenev termiline ujuvusjõud) läbi eesmärgipäraselt ehitatud avade (nt aknad, ukсед, päikesekorstnad, tuuletornid, ja nireventilaatorid). Loomuliku ventilatsiooni ehitus sõltub väliskliimast, hoone tüübist ja inimeste käitumisest.
- sundventilatsioon – õhu sisse- ja/või väljapuhet teostatakse mehhaaniliste ventilaatoritega, mis installeeritakse otseselt seintesse või õhukanalitesse.
- soojustagastusega ventilatsioon – selline süsteem, kus ruumides juba üles köetud õhku kasutatakse ära sisse puhutava värske õhu ette soojendamiseks. Eriti tõhusates süsteemides võib sootuks puududa vajadus eraldi järelküttele.

Ventilatsioonisüsteemi järjepideva ja tõhusa töö tagamiseks on oluline ka selle korrapärane hooldamine. Regulaarsed inspeksioonid on tihtipeale esimeseks sammuks mistahes süsteemi hoolduskavas. Inspeksioonide käigus kontrollitakse, kas kõik süsteemi osad töötavad nii nagu peab ja kas kuskil esineb murekohti (kulumist või kahjustusi), mis süsteemi suuremat energiatarvet või rikkeid põhjustada võivad. [40]

Regulaarne puhastamine on samuti oluline ventilatsioonisüsteemide puhul, sest kogunev tolm ja mustus raskendavad mehhaaniliste süsteemide, eriti ventilaatorite tööd ja põhjustavad samuti suuremat energiakulu. Nii žalusiid, õhušahid kui ka õhufiltrid peaksid regulaarselt puhastatud olema. Arusaadavalt kannatab puhastamata ventilatsioonisüsteemi puhul ka inimeste hingatava siseõhu puhtus ja kvaliteet. [40]

Lisaks sellele peab tähelepanu pöörama ka liikuvate osade (näiteks laagrite) regulaarsele määrimisele ja poltkinnituste kontrollile. Kulusade ennetav väljavahetus osutub lõpuks peaaegu alati odavamaks, kui hilisem potentsiaalne komponentide riknemine ja ootamatu töö seiskumine. [40]

#### 4.3.1 Ventilatsioon ja selle juhtimine Noorsooteatris

Ventilatsioonisüsteem on Noorsooteatris hoone eri osades erinevalt üles ehitatud.

Lavade ventilatsioon on üldiselt juhitud kahte moodi: käsitsi ja automaatselt. Enamjaolt juhitakse automaatselt ehk siis süsihappegaasi anduritega, mis tähendab, et kui CO2 tase tõuseb õhus liiga kõrgele, hakkab ventilatsioon vastavalt võimsamalt töötama.



Joonis 4.8 Noorsooteatri väikse saalis asuv ventilatsiooni juhtimise lüliti

Kuna teatrihoone renoveerimine on toimunud järk-järgult, pole mõistagi olnud võimalik kohe algusest ühte täiesti tsentraalset süsteemi ehitada. Selleks juhitaksegi enamus tavaruumeteatris mitmete väiksemate ventilatsiooniseadmetega (vt Joonis 4.9).





Joonis 4.9 Noorsooteatris üks Komfovent ventilatsiooniseade

Paraku polnud täielikult võimalik veenduda, kuidas kõikide ventilatsiooniseadmete tööd täpselt juhitakse, ent kohapealsel vaatlusel kogutud info kohaselt tundusid seadmetel olevat lokaalstest juhtpultidest sätestatud fikseeritud töörežiimid vastavalt ventileeritavate ruumide suurusele.

Optimaalseim valik oleks võimalikult palju kasutada hoone ruumides CO2 sensoreid, kuna fikseeritud sätetega süsteemid ei suuda ideaalselt jälgida hoonete täpseid hetkeolukordi ja seetõttu võib olla keeruline vältida ala- või üleventileerimist.

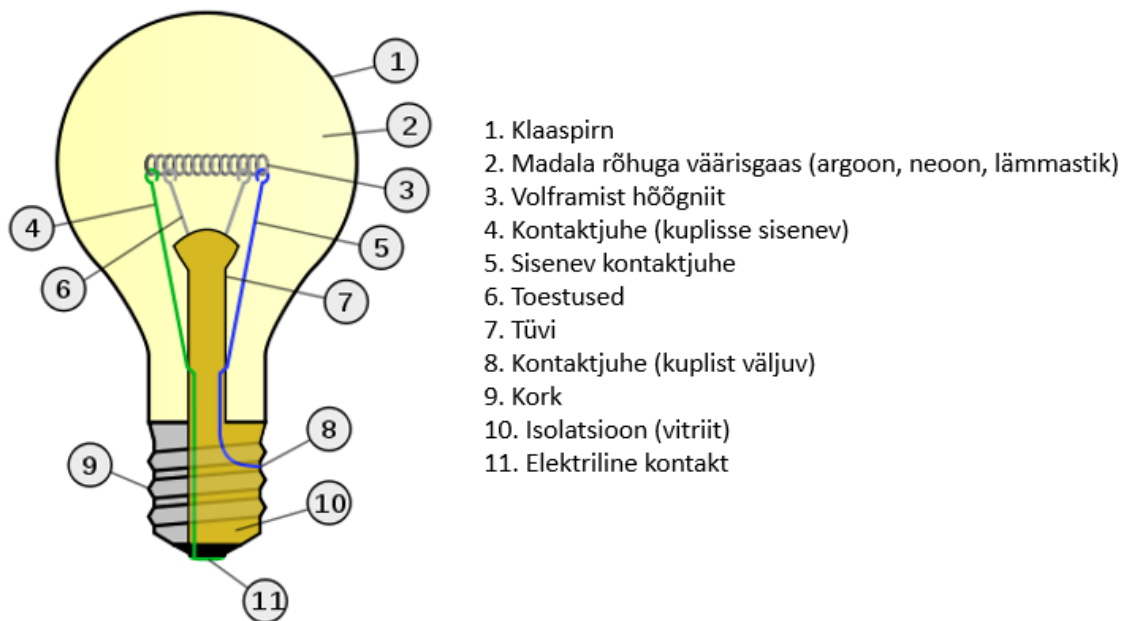
Samuti tasub arvestada, et soojustagastuseta ventilatsioonisüsteemides kulub märkimisväärne hulk energiat lisaks ventilaatorite tööle ka väljast sissetoodava õhu soojendamisele kalorifeeridega. Seega on eriti säärase ventilatsioonisüsteemi puhul iga üleliigse töötunni ärahoidmine suure mõjuga tarbitud energiale.

## 5. VALGUSTUS

### 5.1 Üldiselt sisevalgustusest ja eri tüüpi lampidest

Euroopas kogutud statistika kohaselt moodustavad majapidamistes valgustus ja elektriseadmed ligikaudu 14,1% energiatarbest [32]. Seega on valgustus üks väga oluline tarbija, mille puhul saab energiatarvet rohkelt vähendada. Kui rääkida energiasäästust valgustuses, siis enim-käsitletav temaatika on hõõglampide asendamine LED-valgustitega. Hõõglampide suurim murekoht ja ka põhjus, miks neid aktiivselt välja vahetatakse, on nende ülikehv kasutegur.

**Hõõglampides** kasutatakse õhukest volframist hõõgniiti, mida läbib elektrivool. Niidi suur takistus aga põhjustab selle kuumenemise, lausa 1700-2700 °C ringis, mistõttu niit hakkab hõõguma ja valgust eraldama [41]. Paraku on valgus vaid 10% eraldatud energiast, ülejäänud 90% on hoopis soojus [41]. Hõõglampide eluiga on tüüpiliselt umbes 1000 tundi [42].

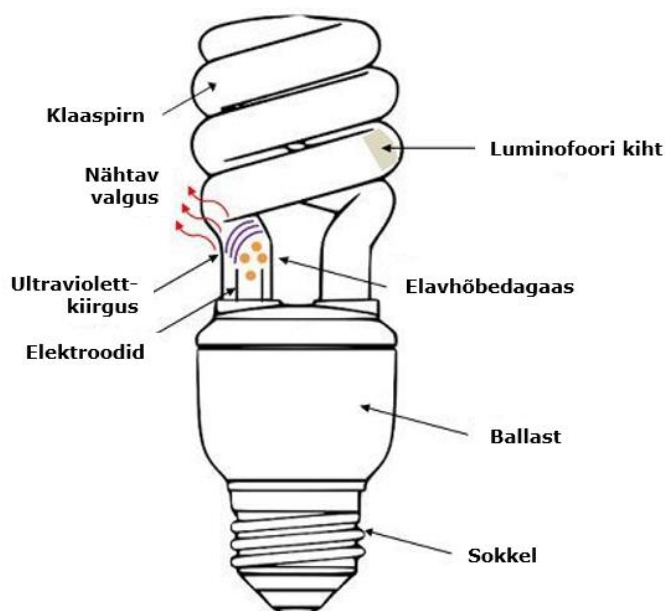


Joonis 5.1 Hõõglampipirni joonis [43]

**Halogeenlambid** on ehituselt täpselt nagu hõõglambidki, ent nende erinevus seisneb selles, et halogeenlampipirnid sisaldavad ka väikses koguses halogeeni (halogeengas, näiteks jodiin). Halogeengas põhjustab volframist niidi kuumema hõõgumise kui muidu, tänu millele eraldatakse ka mõnevõrra rohkem valgust. Samuti tõuseb ka valgusti CCT (*Correlated Color Temperature* ehk värvitemperatuur). Lisaboonusena

suureneb veel ka lambi eluiga mõnikümmend protsenti, kuna halogeen aitab hõõgniidil kauem vastu pidada tuues eralduvat niidi materjali tagasi niidi külge. [42]

**Luminofoorlambid** töötavad hõõglampidest täitsa erinevalt. Neil on klaasist torudes osaline vaakum, ainult et torudes sisaldub ka mingi kogus elavhõbedaurusid. Kui klaastorudes olevat elektroodi kuumutatakse, siis see eraldab elektrone. Eraldatud elektronid ioniseerivad elavhõbeda, luues kaarleegi, mille temperatuur on  $\sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Selle mõjul eritab elavhõbe ultraviolettkiirgust, et oma tavaolekusse naasta. Eritatud ultraviolettkiirgus omakorda kontakteerub valge fosforikihiga, mis on klaastorul. Luminofoor imab kiirguse endasse ning emiteerib nähtavat valgust, mis ongi siis lambipirni väljundiks. Luminofoori on võimalik erinevalt segada, et lamp eritaks eri värvi valguseid. Luminofoorlampide keskmine eluiga on umbes 10000 tundi. [42]



Joonis 5.2 Luminofoorlambipirni joonis [44]

**LEDid** (*Light Emitting Diode* ehk valgust emiteeriv diod) toodavad valgust kuni 90% efektiivsemalt kui hõõglambid [45]. Nende tööpõhimõte seisneb selles, et elektrivool läbitakse pooljuhtmaterjalist, mis seejärel tänu elektroluminesentsi nähtusele emiteerib footoneid ja sellest tekibki nähtav valgus [46]. LEDide eluiga küündib tavapäraselt rohkelt üle 20000 tunni [46]. LED-lambipirni kuju on hõõglambi omale üsna sarnane, ent koosneb sootuks teistsugustest komponentidest (vt Joonis 5.3).



Joonis 5.3 LED lambipirni joonis [47]

Lisaks säästlikumate valgustite kasutuselevõtuga tuleks tähelepanu pöörata ka valgustuse targale juhtimisele. See tähendab, et valgustite manuaalse lülitamise asemel võiks eelistada ruumidesse vastavalt sobivaid taimereid ja andureid. Hõõglampide ja LEDide puhul tasub võimalusel rakendada ka hämardamist.

## 5.2 Valgustus Noorsooteatris

### 5.2.1 Sisevalgustus ja selle juhtimine

Sisevalgustus on teatri vanemas hoone osas teostatud peamiselt luminofoorvalgustitega ning uuemates osades peamiselt LED valgustitega (Joonis 5.4). Energiasäästu vaatest on väga positiivne, et hõõglampide kasutust sisuliselt ei esine või esineb minimaalselt.

Mis puutub aga valgustuse juhtimisse, siis kogutud info kohaselt ei kasutata sisevalgustuse puhul peaaegu mitte kuski ei hämardamist, taimereid ega ka liikumisandureid.



Joonis 5.4 Noorsooteatri garderoobi ruumis asuvad LED valgustid

Tihti läbikäidavates alades, eriti küllastajate jaoks, on arusaadav, kui eelistatakse valgustite pidevat töötamist ning juhtimist pigem ei kasutata. See-eest aga tasub uurida, kas väiksema läbivusega alades, ruumides ning trepikodades ei tasuks kasutada näiteks liikumisandureid, mille abil valgusteid automaatselt sisse-välja lülitataks või siis vähemalt hämardataks.

Automaatse juhtimise abil (anduritega) on välistatud inimeste-poolne eksimuse võimalus kogemata valgusteid pikemaks ajaks tööle unustada. Lisapreemiana suureneb tänu vähem töötamisele (ja võimalusel ka hämardamisele) valgustite eluiga ning neid peab harvemini välja vahetama.

### 5.2.2 Lavade valgustus, lavaprožektorid

Lavaprožektorite arvelt energiasäästu saavutamine on märksa keerulisem kui tavavalgustite puhul, kuna nende valikut mõjutavad ka mitmed muud tegurid peale valgusviljakuse ja võimsuse. Lavaprožektorid on muidu väga võimsad seadmed, teatritl saadud info kohaselt on üks prožektor 500 W ning vahetevahel kasutatakse ka lausa 750 W prožektoreid. Suurimas etendussaalis on prožektoreid 60 tk.

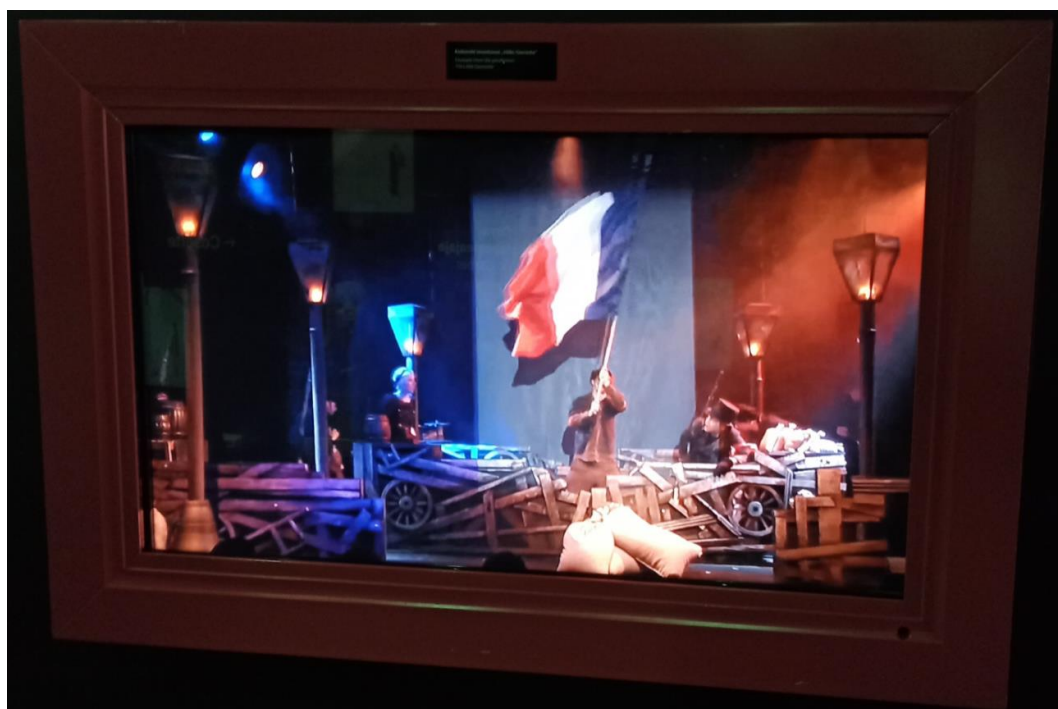
Teatrite puhul prožektoritega üheks lisanüansiks on asjaolu, et lavakunstnikud on mõistagi tundlikud valgustite värviedastuse kvaliteedi suhtes. Ka Noorsooteatritl saadi infot selle kohta, et nende lavakunstnike jaoks on prožektorite värviedastus oluline ning mõned minevikus kaalutletud energiasäästlikumad prožektorid oleksid selle parameetri poolest olemasolevatest kehvemad olnud ja seega asendust ei tehtud.

Sellele vaatamata tasub pidevalt uutel toodetel silma peal hoida. Arengud tehnoloogias toimuvad kiiresti ning iga hetk võib turule tootevalikusse tekkida just sellist tüüpi lavaprožektor, millega saab nii energiat säästa kui ka kunstnikke rahuldava kvaliteediga valgustust pakkuda.

### 5.2.3 Esteetilise eesmärgiga valgustid ja reklaamiobjektid

Järgnevalt uuritakse Noorsooteatris kasutatavaid reklaamiobjekte ning võimalusi nende arvelt energiat säästa. Elektrit tarbivateks reklaamiobjektideks võivad näiteks olla esteetilise ilu loomise eesmärgiga valgustid või tähelepanu köitmiseks reklaamtahvlid ja ekraanid.

Näiteks asub Noorsooteatri muuseumis ekraan, mis hakkab liikumisandurite mõjul mängima videosalvestust (vt Joonis 1.1). Liikumisandur on antud puhul hea viis tagamaks, et ekraan ei ole pidevalt ja tarbetult töös.



Joonis 5.5 Liikumisanduri peale aktiveeruv ekraan Noorsooteatri muuseumis

Muuseumis asuvad veel ka eksponaatide valgustamiseks erisugused prožektorid. Teatri sõnul on osa prožektoritest veel veidi vanemat tüüpi hõõgniidi tehnoloogiaga ning nende võimsus on umbes 100 W. Ühes toas on kasutusel ka halogeenprožektorid, mis on sarnase võimsusega (vt Joonis 5.6).



Joonis 5.6 Halogeenprožektorid Noorsooteatri muuseumis

Kuna tegemist on tarbijatega, mis on teisipäevast pühapäevani iga päev 8 tundi töös, võib nende elektritarve olla üsna suure osakaaluga. Teatrilt saadud info kohaselt on teatud osa prožektoritest juba vahetatud LEDidega versioonide vastu välja. Need tarbivad 100 W asemel 15 W.

Käesoleva infoga saab võrrelda, kui palju raha kulub ühe või teise prožektoritöö hoidmiseks ühe aasta jooksul.

Elektrihinna arvestuseks kasutatakse 2021. aasta andmeid ning keskmise hinna jaoks arvutati teatri lahtiolekuaegadel olevad elektrihindade keskmine välja ehk siis keskmine tunnihind teisipäevast pühapäevani kella 10:00 ning 18:00 vahel.

Keskmiseks elektri turuhinnaks tuli 8,73 senti/kWh ja töötunde kokku 2888 h. Elektri turuhinnale arvestatakse veel juurde ka nii päevased kui ka öised edastustasud, elektriaktsiis ja taastuvenergia tasu. Järgnevalt esitatakse tabel, kus on eri tüüpi prožektorite elektrikulu ühe aasta kohta kujutatud (vt Tabel 5.1).

Tabel 5.1 2021. aasta elektrihindade põhjal eri tüüpi prožektorite elektrikulu võrdlus

<b>Kirjeldus</b>	<b>Maksumus</b>
Keskmine elektri börsihind (s/kWh)	8,73
Päevase tariifiga töötatud tunnid (h)	1664
Öise tariifiga töötatud tunnid (h)	816
Elektriaktsiis (s/kWh)	0,1
Taastuenergia tasu (s/kWh)	1,13
Elektri edastamistasu päeval ajal (s/kWh)	3,02
Elektri edastamistasu öisel ajal (s/kWh)	1,78
Aastane rahakulu ühe LED prožektoriga (€ aastas)	3,74
Aastane rahakulu ühe hõõglamp-prožektoriga (€ aastas)	31,18
Erinevus (€/aastas)	27,44

Erinevuseks tuli 27,44 € aastas ühe prožektoriga kohta. Siinkohal tuleks ka arvestada eri tehnoloogiatega valgustite eluiga erinevust (vt alapeatükk 5.1), sest LED-valgustite eluiga on tihtipeale mitukümmend korda kõrgem kui hõõgniidiga valgustitel.

On ka muidugi arusaadav, kui majanduslikel põhjustel ei ole võimalik kõiki prožektoreid kiiresti ja korruga välja vahetada. Sellisel juhul tasuks kompromissina mõelda mingisuguse juhtimislahenduse peale. Kui vähegi võimalik, võiks ka prožektoritega kasutada liikumisandureid või siis näiteks valgustite hämardamist sel ajal, kui muuseumis külastajaid pole.

Noorsooteatri fuajee esimesel ja teisel korrusel asuvad veel eraldi neli suurt ekraani, millega reklaamitakse näiteks tulevase etendusi. Kogutud info kohaselt töötavad kõik ekraanid katkematult.

Eeldatavasti ei ole tegemist eriti võimsate tarbijatega, aga sellegipoolest võib proovida vältida nende eesmärgitult töötamist. On arusaadav, kui inimeste jaoks on kohmakas iga päev seadmeid kaitselülititest sisse-välja lülitada. Selleks, et seadmeid lihtsalt ja mugavalt juhtida, võib näiteks kasutada ka programmikellasid (vt Joonis 5.7).





Joonis 5.7 Programmkell Theben TR 608 top2 S [48]

Tegemist on lihtsate ja suhteliselt soodsate elektrikilpi DIN-liistule paigaldatavate seadmetega, mille abil saab programmeerida erinevate seadmete sisse- ja väljalülitamise aegu.

Programmikella puhul on oluline jälgida lülituskontakti maksimaalset lubatud lülitatavat voolu. Kui lülitatava seadme vool on suurem, kui programmikella oma, tuleb lülitamiseks kasutada kontaktorit.

#### **5.2.4 Välisvalgustus ja selle juhtimine**

Välisvalgustus on hoone ümbruse valgustamiseks hämaral ajal ning seda juhitakse Noorsooteatris hämaraanduriga.

Peamiselt ongi valida kahe variandi vahel: hämaraandur või liikumisandur. Kui on teada, et pimedal ajal ei toimu hoone ümber eriti palju liikumist, tuleks eelistada liikumisandureid, et valgustite eesmärgitu töötamine oleks minimaalne.

Kui aga välisvalgustus on osa hoone disainist või seda kasutatakse reklaami eesmärgil, on hämaraandur parem valik.

## 6. KONTORISEADMED

### 6.1 Kontoriseadmete elektritarve

Kontoriruumides on peamised elektritarbijad tööarvutid, printerid ja koopiamasinad. Kuigi erinevate sääraste seadmete energiatarve varieerub üsna tugevalt, on järgnevalt välja toodud arvutite keskmine energiatarve (vt Tabel 6.1).

Tabel 6.1 Arvutite keskmine energiatarve [49]

Arvuti tüüp	Energiatarve, W
Lauaarvuti	60-250
Sülearvuti	15-45
Arvuti, mis on "magavas" olekus	1-6

Eraldi tuuakse välja ka erinevate monitoride keskmine energiatarve (vt Tabel 6.2).

Tabel 6.2 Monitoride keskmine energiatarve [49]

Arvutimonitori tüüp	Energiatarve, W
Tüüpiline 17" CRT	80
Tüüpiline 17" LCD	35
Monitor, mis on "magavas" olekus	0-15

Jaapanis 2004. aastal tehtud uuringus esitati erinevate kontoriseadmete energiatarbe numbrid järgnevalt (vt Tabel 6.3).

Tabel 6.3 Erinevate kontoriseadmete energiatarve erinevates olekutes [50]

Seade	Täpsustus	Normaaltöö, W	Magav olek, W	Ei tööta, W
Arvuti	Lauapealne	55	25	1,5
	Sülearvuti	15	3	2
Monitor	CRT	85	5	0,5
	LCD	15	1,5	0,5
Koopiamasin		185	76	8,7
Laserprinter		77	25	1

Esitatud andmetest on näha, et magavas olekus tarbivad kõik seadmed märkimisväärselt vähem energiat kui tavaolekus. Sellest lähtuvalt tutvustatakse järgnevas alapeatükis konkreetseid meetmeid kontoriseadmete energiatarbe vähendamiseks.

## **6.2 Kuidas kontoriseadmeid energiasäästlikult kasutada?**

Kuna enamused modernsetest elektroonikaseadmetest on juba tehases energiasäästlikuks disainitud, siis enamjaolt seisneb kontoriseadmete puhul energia säästmise nende kasutajate käitumises.

Üldpõhimõte on kõikide seadmetega sarnane – mida vähem need tarbetult töötavad, seda suurem on energia kokkuhoid ehk siis igal seadmel võiks olla magavasse režiimi sisenemise sätteid paigas [50]. Loomulikult tuleb kõike teha mõistlikkuse piires, sest kui seadmete väljalülitamine sätestatakse toimuma peale igat väiksemat kasutaja eemalolekut, võib see töörütmi hakata häirima ja näiteks frustratsioonist lülitatakse toitehalduse funktsioon üldse välja.

Iga kasutaja peaks oma kasutatavate seadmete toitehalduse sätteid üle vaatama ja ajaintervallid endale sobivaks sätestama. Peaasi, et toitehaldust täielikult ei ignoreeritaks ja üldse ei kasutataks.

Veel mõnevõrra vähem teatud aspekt elektroonikaseadmete puhul on parasiitsed kaod ka väljalülitatud seadmete puhul. Ligikaudu 1-2% kogu maailma tarbitavast elektrist on põhjustatud magavas olekus või väljalülitatud (aga mitte toitest lahti ühendatud) seadmete marginaalsest elektritarbest [51].

Seega võiks kõikjal, kus võimalik, kasutada väljalülitatavaid pistikupesasid või mitmepesalisi pikendusjuhtmeid. Nende abil saab enne tööpostilt lahkumist kõik pistikupesasse ühendatud seadmed ühe vajutusega välja lülitada nii, et elektri tarbimine oleks seadmete poolt välistatud.

### **6.2.1 Arvutus – magava režiimi kasutus ühe lauaarvuti ja kahe monitoriga**

Sarnaselt punktis 5.2.3 teostatud arvutusele, kus eri tüüpi prožektoreid võrreldi, võib ka kontoriseadmete puhul välja arvutada, kui palju saaks raha kokku hoida tööarvutiga magava režiimi regulaarsel kasutamisel võrreldes selle üldse mitte kasutamisel. Kui arvestada samasugust keskmist hinda (8,73 s/kWh) ja alapeatükis 6.1 käsitletud seadmete tarbimist, siis tulemused on järgnevad (vt Tabel 6.4).

Tabel 6.4 2021. aasta keskmiste elektrihindade põhjal teostatud rahakulu võrdlus ühe lauaarvuti ja kahe monitori puhul, kui ei kasutata vs kasutatakse magavat režiimi

<b>Kirjeldus</b>	<b>Tavatöö</b>	<b>Magav olek</b>
Keskmine lauaarvuti	55	25
Keskmine LCD monitor (2 tk)	30	3
Kohendatud lauaarvuti 8 tunni keskmine energiatarve	55	51,25
Kohendatud kahe monitori 8 tunni keskmine energiatarve	30	26,63
Päevase tariifiga töötatud tunnid, h	1664	
Öise tariifiga töötatud tunnid, h	816	
Elektriaktsiis, s/kWh	0,1	
Taastuenergia tasu, s/kWh	1,13	
Elektri edastamistasu päeval ajal, s/kWh	3,02	
Elektri edastamistasu öisel ajal, s/kWh	1,78	
Aastane rahakulu magavat režiimi mitte kasutades, € aastas	26,5	
Aastane rahakulu ühe hõõglamp-prožektoriga (€ aastas)	24,3	
Erinevus (€/aastas)	2,22	

Kuigi on näha, et aastane rahasääst oleks tühiselt väike summa (2,22 €), tuleb täheldada, et see käib vaid ühe arvuti ja kahe monitori kohta ning tegemist on väga lihtsa ja investeringut mitte nõudva meetmega.

## 7. KOKKUVÕTTEV INFO TEATRITALE

### 7.1 Soovitud Noorsooteatrile

Peale kõiki mainitud säästumeetmeid visualiseeritakse Noorsooteatrile näidiseks ka potentsiaalsed energia- ja rahasäästud antud meetmeid rakendades. Aluseks võetakse Noorsooteatri 2021. aasta elektriarvete keskmine maksumus, mis tuleb ligikaudu 3100 €. Aktiivvõimsuse tarbimise igakuine keskmine tuleb 21,3 MWh ning reaktiivvõimsuse tootmise keskmiselt 1,9 Mvarh.

Kui keskmine igakuine tarbimine elektri eest makstud rahasumma omavahel jagada, saab tulemuseks, et 2021. aastal oli Noorsooteatri jaoks ühe MWh elektri hind 146 €. Nüüd pannakse kogutud info põhjal hinnanguliselt paika erinevate seadmete/süsteemide osakaalud kogutarbimisest ning võimalikud säästmise potentsiaalid. Peale seda esitatakse kokkuvõttev tabel.

Kuigi siseruumide küte on Noorsooteatris teostatud kaugküttega, siis siseruumide kütmisele kuluvate suurte summade visualiseerimiseks ka nende teatrite jaoks, kus kaugkütet ei kasutata, tuuakse välja ka Noorsooteatri soojusenergia arved. 2021. aastal maksti soojusenergia eest Noorsooteatris igakuiselt keskmiselt 2500 €. Kuna küttearved olid peaaegu sama suured elektriarvetega, siis on kasulik visualiseerida potentsiaalseid sääste, kui näiteks teostataks radiaatorite asendus põrandaaluste küttevõrkude vastu. Antud meetme rakendamisel peetakse säästu potentsiaaliks vähemalt 25%.

Jahutus ja ventilatsioon võiksid Noorsooteatris teostatud vaatluste kohaselt moodustada ligikaudu 60% kogutarbimisest, kuna juba ainuüksi Nunne tn 4 liitumispunktis moodustas vent. ruumi sisaldav teine sektsioon ligikaudu 65% kogu teatri tarbimisest. Kuigi tavapäraselt küündib CO<sub>2</sub> sensorite kasutamisest tingitud energiasääst ventilatsioonisüsteemides suisa 40% ligidale, siis Noorsooteatris lavade puhul juba kasutatakse CO<sub>2</sub> sensoreid ja säästu potentsiaal hinnatakse pigem 20% ligidale [52].

Kõikide lavade prožektorid võiksid kogutarbimisest moodustada ligikaudu 20%. Kuna ainuüksi suurima lava tarbimine (kus eelduste kohaselt tugev enamus tarbimist ongi prožektorite poolt) oli mõõdetud ajaperioodil ligikaudu 14% kogu teatri tarbimisest, siis ka teisi lavasid juurde arvestades võiksid need kogutarbimisest umbes sellise protsendi moodustada. Eeldades, et sarnaselt teistele valgustitele ja prožektoritele oleks ka LEDidega lavaprožektorite puhul tarbimine vähemalt viis korda väiksem, siis energiasäästu potentsiaali hinnataksegi olevat 80%.

Sise- ja välisvalgustuse puhul juba kasutatakse tugevas enamuses väga säästlikke valgusteid, seega eeldatakse see olevat 5% kogutarbimisest. Eeldus on, et kui kasutatakse rohkem liikumisandureid ja ka hämardamist, siis summaarselt võiksid olemasolevad valgustid põleda umbes 15% vähem kui varem.

Reklaamiobjektid ja esteetilise eesmärgiga valgustid ehk siis näiteks Nukuteatrimuuseumi prožektorid, kõik reklaamtahvlid jne võiksid moodustada näiteks 4% kogutarbimisest. Muuseumi prožektorite puhul iseloomustab hõõgniitidega seadmete väljavahetus LEDidega versioonide vastu ca 6,5-kordset erinevust tarbimises. Kuna aga muude valgustite ja reklaamtahvlite puhul nii suurt kokkuhoidu ilmselt ei saavutataks, määratakse energiasäästu potentsiaaliks pigem 75% (4-kordne erinevus).

Muude tarbijate, nagu näiteks üldtarbijate, töökodade, laoruumide ja kontorite osakaal kogutarbimisest hinnatakse olevat 9,5%. Siia hulka kuuluvad mistahes tavaseadmed ja elektroonika ning energiasäästu arvestatakse selle põhjal, kui ööseks eraldataks seadmed alati toitest ja mistahes elektroonikal utiliseeritakse magavat režiimi maksimaalselt, võiks kokkuhoid ulatuda ~15% ringi.

Tarbevee küte hinnatakse teatris moodustavat 1% kogutarbimisest, kuna Noorsooteatris enamus tarbevett köetakse jällegi kaugkütte soojussõlmest. Teatud hoone osades aga kasutatakse elektriboilereid, seega 1% tundub adekvaatne prognoos. Punktis 4.1.3 meetmeid rakendades võiks keskeltläbi ennustada 20% säästu.

Reaktiivenergiat toodeti igakuiselt võrku keskeltläbi 1,92 Mvarh. Olgugi, et selle kulu elektriarvetel oli väike, aga kui kompenseerimist juba elektrikvaliteedi parandamiseks nagunii rakendatakse, siis mingisugune sääst tekib ikka. Reaktiivenergiale kuuluva raha osakaal elektriarvetel küündis vaevu 0,5% ligi.

Kui teatris teostatakse kunagi ka pikemaajalised mõõtmised ning tarbimiste osakaalud saadakse täpsemalt teada, saab järgnevat tabelit (vt Tabel 7.1) ikkagi säästude prognoosimiseks aluseks võtta, ainult et osakaalusid tuleb muuta.

Tabel 7.1 Noorsooteatri 2021. aasta igakuise keskmise energiatarbe ja elektriarve maksumuse põhjal tehtud tabel prognoosimaks potentsiaalseid igakuiseid energia- ning rahasääste, kui rakendataks töös nimetatud energiasäästu meetmeid

<b>Tarbija kirjeldus; elektrile kuluva raha %</b>	<b>Prognoositud praegune energiatarve ja rahakulu</b>	<b>Prognoositud potentsiaalne vähenenud energiatarve ja rahakulu</b>	<b>Erinevus</b>
Siseruumide küte; 0%	47,2 MWh <sub>th</sub> , 2500 €	35,4 MWh <sub>th</sub> , 1875 €	11,8 MWh <sub>th</sub> , 625 €
Jahutus ja ventilatsioon; 60%	12,8 MWh, 1860 €	10,2 MWh, 1488 €	2,6 MWh, 372 €
Lavade prožektorid; 20%	4,26 MWh, 620 €	2,13 MWh, 310 €	2,13 MWh, 310 €
Reklaamiobjektid, ekraanid, esteetilised valgustid; 4%	0,852 MWh, 124 €	0,170 MWh, 24,8 €	0,682 MWh, 99,2 €
Üldtarbijad, kontoriseadmed; 9,5%	2,13 MWh, 310 €	1,81 MWh, 264 €	0,32 MWh, 46 €
Sise- ja välisvalgustus; 5%	1,07 MWh, 155 €	0,910 MWh, 132 €	0,16 MWh, 23 €
Reaktiivenergia tootmine, 0,5%	1,92 Mvarh 13,4 €	0,04 Mvarh, 0,27 €	1,88 Mvarh 13,1 €
Tarbevee küte; 1%	0,213 MWh, 31 €	0,181 MWh, 14,9 €	0,043 MWh, 3,7 €
Reaktiivenergia tootmine, 0,5%	1,92 Mvarh 13,4 €	0,04 Mvarh, 0,27 €	1,88 Mvarh 13,1 €
Ühe kuu jooksul kõik kokku	47,2 MWh <sub>th</sub> + 21,3 MWh + 1,92 Mvarh 5600 €	35,4 MWh <sub>th</sub> + 15,9 MWh + 0,04 Mvarh 4100 €	11,8 MWh <sub>th</sub> + 5,4 MWh + 1,88 Mvarh 1500 €

Hinnanguline prognoos näitab, et kõiki säästumeetmeid rakendades võiks potentsiaalne igakuine rahasääst olla näiteks 1500 €. Võrreldes praeguse olukorraga, oleks arvete erinevus ligikaudu 27%. Muuhulgas on näha, et suurim rahasäästu potentsiaal leidub ikkagi suurimate, võimsaimate tarbijate (küte, jahutus ja ventilatsioon ning prožektorid) optimeerimisel. Väikeste elektritarbijate optimeerimise võiks prioriteedilt pigem viimaseks jätta.

Kõige keerulisem on hinnata elektrikvaliteedi parameetrite parandamise tagajärjel tekkivat energiasäästu, kuna halbade näitajate hetkesed mõjud seadmetele on teadmata. Sellegipoolest tasub arvestada, et kui pinged, voolud ja muud näitajad on heades vahemikes, sümmeetrilised ning seadmed saavad pidevalt talitleda optimaalsetes oludes, kus nende kulumine ja rikkumine on minimeeritud, võib see endaga pikas perspektiivis kaasa tuua peidetud, aga ikkagi märkimisväärset rahasäästu.

## 7.2 Soovitused ja tegevuste nimekiri teistele teatritele

Viimase etapina esitatakse kokkuvõtlik viiesammuline tegevuste nimekiri, kus on ära näidatud soovituslikus järjekorras võimalikud tegevused, mis elektriarvete vähendamisel võiks ette võtta:

**Esimene** samm peaks alati olema lähimineviku tarbimisandmete ja elektriarvete analüüs, et mõista, kas, millal ja mis mahus kulud suurenema on hakanud. Teades seda infot, on lihtsam edasisi samme täita.

**Teine** tegevus oleks võimaluse korral kõikvõimalike tarbimiste mõõtmiste teostamine. Optimeerimisega on märksa lihtsam alustada, kui on täpselt teada, mis hoone osas, mis ajal ja mis mahus elektritarve toimub.

Sealhulgas tuleks mõõta ka elektrikvaliteedi parameetreid, et mõista, mis tingimustes elektripaigaldis üldse töötab. Nagu ka lõputöös eelnevalt välja toodi, võivad liiga suured või väiksed pinged seadmete tööd häirida või neid kahjustada. Koormuste asümmeetria faasides aga põhjustab lisakadusid ja omakorda põhjustab pingete asümmeetriat, mis samuti mõjub halvasti kolmefaasilistele seadmetele.

Kuigi teatrites tunduvad reaktiivvõimsuste mahud ja nende eest makstavad rahasummad pigem väikesed olevat, võib alati esineda erandeid, kus kompenseerimisseadme paigaldus ikkagi oleks mõne aastaga tasuv. Kuigi reaktiivvõimsuse esinemine süsteemis ei pruugi otseselt elektriarvetel suuri rahakulusid põhjustada, siis kaudselt on ülalnimetatud halvad mõjud elektrikvaliteedile ikkagi olemas ja neid tuleks kindlasti arvestada.

**Kolmandana** tuleks ette võtta kütte-, jahutuse- ja ventilatsioonisüsteemid. Esmalt tasub muidugi uurida, kas olemasolevaid seadmeid/süsteeme on ehk võimalik säästlikemate vastu välja vahetada (näiteks kütte puhul õlikatla asendamine soojuspumbaga, kui sellist investeeringut on võimalik teha), kuna paraku vanad ja ebatõhusad süsteemid jäävad rohkelt energiat tarbima isegi peale optimeerimisi. Siinkohal ei tasu ignoreerida ka tarbevee kütmist ja sellega seotud kulusid, kuna need võivad sõltuvalt küttesüsteemist olla arvatust suurema osakaaluga.

Vähem mahukas abimeede on aga juhtimise põhimõtete muutmine. Teadaolevalt on kõige optimaalsem sisekliimat juhtida kasutades võimalikult kohapõhist infot, näiteks iga ruumi kohta eraldi. Kütte ja jahutuse puhul on kindlasti soovituslik juhtimiseks paigaldada siseruumide temperatuuriandurid ning ventilatsiooni juhtimiseks CO<sub>2</sub>



andurid. Mida lokaalsem ja spetsiifilisem on juhtimine, seda väiksem on tõenäosus, et üheski ruumis muutub sisekliima ebameeldivaks ja et toimub ala- või ülereguleerimist.

Tähelepanu tuleks suunata ka korrapärastele hooldustele ja puhastamistele, kuna see on antud süsteemide puhul üks lihtsamaid meetmeid tagamaks efektiivset talitlust. Regulaarselt tuleks kontrollida termostaatide sätteid, kütte- ja jahutussüsteemide puhul soojusvahetite, küttekehade, paakide seisukorda/puhtust ning ventilatsioonisüsteemides filtrite ja ventilaatorite seisukorda, kalorifeeride sätteid, õhušahte jne. Sedasi saab tagatud, et märkamata jäänud mustuse kogumiku või mingi komponendi kulumise/kahjustuse tõttu ei tööta süsteem ebaefektiivselt.

**Neljandana** tasub üle käia kogu hoone valgustus ning esimesena peaks kindlasti vaatama, kui palju kasutatakse vanu ja ebatõhusaid valgusteid ning kas neid on võimalik energiasäästlikemate vastu välja vahetada. Lõputöös teostatud analüüs näitab, et hõõgniite kasutatavate valgustite asendamine luminofoor- või LED-valgustitega võib aidata saavutada mitmekordset tarbimise vähenemist. Muuhulgas on viimastel valgustitel ka kõvasti pikem eluiga ning seetõttu vähenevad ka käiduga seotud aja- ja rahakulud.

Peale seda on hea üle vaadata valgustuse juhtimise põhimõtted. Hoone valgustite sisse- ja väljalülitamist võiks võimaluse korral pigem juhtida andurite ja taimeritega, mitte manuaalsete lülitustega. Seeläbi välistatakse võimalus, et inimeksimuste tõttu jäetakse valgusteid kogemata tarbetult pikaks ajaks tööle. See põhimõte hõlmab nii sise- ja välisvalgustust kui ka muid erineva eesmärgiga valgusteid.

**Viienda** ja viimase sammuna võib üle kontrollida kõikide tavalisemate seadmete, kontoriseadmete (tihtipeale proportsionaalselt üsna väikese osakaaluga tarbimisest) jm kasutamise põhimõtted. Siinkohal on tegelikult suurim roll seadmete kasutajate teadlikkusel, sest säärastel modernsetel seadmetel enam väga suurt energiatarbe erinevust omavahel ei ole. Küll aga saavad seadmete kasutajad ise panustada energiasäästu. Kehtivad üldised ja teada-tundud põhimõtted: näiteks kontoriseadmete puhul tasub ära sätestada toite sätteid, et arvutid läheksid magavasse olekusse, kui keegi neid vähe pikemat aega kasutanud pole; sooja tarbevee raiskamist tuleb vältida; külmkappide uksi lahti mitte unustada jne.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö raames uuriti võimalusi teatrihoonetes elektri tarbimise vähendamiseks ja energiakokkuhoiu saavutamiseks, kuna hiljutine üleeuroopaline energiakriis on elektri eelarved nii kodumajapidamistes kui ka tööstustes lõhki ajanud. Näidisobjektiks sai Eesti Noorsooteater. Töö eesmärgiks oli:

- luua kõikehõlmav ülevaade Noorsooteatris kasutatavatest seadmetest, süsteemidest ja nende juhtimisest;
- pakkuda välja paremad meetmed seadmete või süsteemide kasutamiseks ja juhtimiseks või vajadusel üldsegi soovitada seadmete väljavahetust;
- edastada kogu info ja soovitused selliselt, et ka teised teatriasutused (või ka muud sarnased asutused) saaksid esitatud teavet ja nõuandeid enda hüvanguks ära kasutada.

Eesmärkidest lähtuvalt alustati esmalt probleemi visualiseerimisega uurides teatri viimase nelja aasta elektri tarbimisandmeid koos elektriarvetega. Andmed näitasid, et tarbitud elektri mahud ei ole viimasel ajal võrreldes minevikuga tõusnud. Seega jäi veel üle uurida elektriarvete erinevaid komponente, mille järgi võis näha, et elektri börsihinna tõus sisuliselt üksinda on suutnud viimased elektriarved ootamatult suureks puhuda. Muud tasud selles rolli ei ole mänginud. Teatri jaoks teostati ka võrdlus fikseeritud ja turuhinnaga elektrikpakettide mõistlikkuse kohta. Kuigi 2021. aastal oleks fikseeritud hinnaga pakett soodsam olnud, näitasid hilisemad mõõtetulemused, et teatri tarbimismustritega on börsipakett ikkagi mõistlikum valik.

Seejärel teostati teatris kohapeal suurima tarbimisega liitumispunkti peajaotuskilbi mõlemas seksioonis nädalapikkune elektriline mõõtmine, et saada nii pingete, voolude kui ka võimsuste andmed sekundi täpsusega. Vastavalt mõõtetulemustele analüüsiti elektrikvaliteedi parameetreid.

Leiti, et pinged olid märgatavalt üle nimiväärtuste. Siinkohal tundus süüdi olevat reaktiivenergia tootmisest tingitud negatiivne võimsustegur. Kuigi elektriarvetel on reaktiivvõimsuse eest makstava raha osakaal väga väike, siis tehniliste probleemide tekkimisel tuleks ikkagi kaaluda kompenseerimislahendust. Esines ka mõningast harmoonmoonutust, ent mitte murettekitaval tasemel (suurim THD 10-minuti keskmine väärtus oli 5,5%). Tähelepanu köitis ka faaside koormatuse asümmeetria, mis oli liitumispunktis keskeltläbi 23,4%. Selle näitaja parandamiseks soovitati juhistikku mõnevõrra muuta ning seadmeid faaside vahel ringi tõstma.

Edasi jaotati hoone elektritarbijad erinevateks segmentideks ning iga osa vaadeldi ja analüüsiti eraldi. Esimesena võeti ette tüüpiliselt suurim tarbija sääraates hoonetes: küte, jahutus ja ventilatsioon.

Kuna Noorsooteatris kasutatakse kaugkütet, ei olnud otseselt elektriarvete vähendamiseks nõuandeid võimalik jagada. Vaatamata sellele soovitati küttearvete vähendamiseks kindlasti kasutada radiaatorite termostaatide allareguleerimist ning uurida tasuks ka radiaatorite asendamist märksa energiasäästlikuma põrandaaluste küttevee-torude süsteemiga ning seda juhul, kui kõrgevõitu investeeringumaksumus takistuseks ei saa.

Jahutussüsteem on Noorsooteatris suuremas osas lahendatud suure ja tsentraalse Siemensi süsteemiga, mis välisõhu temperatuuri järgi reguleerib siseruumide jahutamise astet. Üldpildis võiks pigem eelistada välisõhu temperatuuri jälgimise asemel siseruumide temperatuurandureid, kuna muutused siseruumide temperatuurides on mõjutatud märksa rohkemate teguritest, kui seadme algoritm ennustada suudaks.

Ventilatsioonisüsteemi juhtimisel kasutatakse etendussaalides CO<sub>2</sub> andureid, ent nende kasutust võiks laiendada ka ülejäänud hoonele, kuna siis on kõikjal minimaalne võimalus ala- või üleventileerimiseks. Lisaks sellele peaks kindlaks tegema, et ventilatsioonisüsteemi regulaarselt hooldatakse, kuna mustuse/tolmu kogunemine komponentidele või nende teadmatu kulumine võivad rohkelt tõsta energiakulu.

Edasi käidi üle hoone valgustus. Sisevalgustuse lahenduse vaates oli positiivne, et hõõglampe ei kasutatagi või neid oli veel ainult mõni üksik kasutusel. Juhtimine aga käis kõik manuaalsete lülitustega, seega soovitati teatril uurida võimalusi andurite kasutamiseks, et minimeerida valgustite tarbetut töötamist, seda eriti vähema läbikäidavusega, külastajatele mitte mõeldud ruumides.

Nukuteatrimuuseumis kasutatakse veel teatud hulgal hõõgniitidega prožektoreid ja need soovitati kindlasti välja vahetada LEDidega versioonide vastu, kuna prožektorid töötavad pidevalt ja energiatarbe erinevus võib lõpuks tulla märkimisväärne. Välisvalgustuse puhul kasutatakse ilusti hämaraandureid ja ei lülitata manuaalselt.

Ka kontoriseadmete kasutamisel on võimalik väiksel hulgal enegiat säästa järgides väga lihtsaid põhimõtteid: igal seadmel peaks magava režiimi sättes paigas olema, et seadme mittekasutamisel tarbetult elektrit ei kuluks ning enne töölt koju minemist tasub kõik kasutatavad seadmed toitest täitsa eraldada (näiteks pikendusjuhtme lülitiga), et ei

toimuks parasitset tühijooksutarbimist. Peamiselt sõltubki selliste seadmete energiatarve nende kasutajate käitumisest.

Noorsooteatrile kokkuvõtva näidise andmise eesmärgil leiti teatri 2021. aasta igakuine keskmine energiatarve (21,3 MWh) ning kütte ja elektri eest makstud rahasummad (vastavalt 2500 € ning 3100 €). Seda infot kasutati, et prognoosida kõikidele analüüsitud seadmetele/süsteemidele vastav osakaal kogutarbimisest, et hinnata soovitatud säästumeetmete rakendamisel tekkivat potentsiaalset igakuist rahasäästu. Tulemused näitasid, et kõiki meetmeid rakendades võiksid igakuised kütte- ja elektrikulud väheneda 5600 eurolt 4100 euronni ehk ligikaudu ~27%.

Viimaks esitati analüüsitud energiasäästu meetmete põhjal kokkuvõtlik tegevuste nimekiri, kuhu sai prioriteedi järjekorras kirja pandud kõik tegevused, mida teised teatrid elektriarvete vähendamiseks võiksid järjest ette võtta. Lühidalt soovitati:

- esimesena lähimineviku andmete analüüs teostada;
- teisena elektripaigaldises põhjalikud mõõtmised teha ja tulemuste põhjal elektrikvaliteedi näitajaid analüüsida ja parandada;
- kolmandana kütte-, jahutus- ja ventilatsioonisüsteeme optimeerida, olgu selleks siis seadmete väljavahetus, korrapärane hooldamine või juhtimise põhimõtete moderniseerimine;
- neljandana hoone valgustuse revisjon teha, sealhulgas vanade ja ebatõhusate valgustite väljavahetus säästlikemate vastu ning samuti valgustite targemat juhtimist ja võimalusel ka hämardamist kasutada;
- viiendana optimeerida üldtarbijate, kontoriseadmete ja muude tavateadmete kasutust, mille juurde käib ka töötajate koolitamine, et nad energiasäästlikumalt käituda oskaksid.

Üldpildis jäi Noorsooteatrist mulje, et tegelikult seal mõistetakse energiasäästu põhimõtteid ja pidevalt tegutsetakse, et olukorda parandada. Arusaadavalt on pärismaailmas ressursid uute lahenduste rakendamiseks piiratud, eriti praegustel majanduslikult keerulistel aegadel. Loodetavasti leiavad nii Noorsooteater kui ka teised teatriasutused käesolevast lõputööst abistavat infot ja ehk ka motivatsiooni, et endi hoonete elektripaigaldised energiasäästlikemateks muuta.

## SUMMARY

In the framework of the present master's thesis, possibilities of reducing electricity consumption and increasing energy savings in theatre buildings were examined, as the recent pan-European energy crisis has blown electricity budgets in both households and industries. Eesti Noorsooteater became the examined object. The aim of the thesis was:

- to create a comprehensive overview of the theatre's devices, systems and the way they are being controlled;
- to propose better measures for the use and control of equipment or systems, or when necessary, to even recommend swapping devices out completely;
- to pass on all the information and recommendations in such a way that other theatre institutions (or other similar types of institutions) may also use the information and advice for their own benefit.

Based on the set goals, the whole process began with visualizing the problem by examining the theatre's electricity consumption data and electricity bills for the last four years. The data showed that electricity consumption had not increased recently compared to the past. Thus, the various components of electricity bills remained to be examined, from which could be seen that the increase in the market price of electricity alone has managed to inflate the last electricity bills to an unexpectedly high level. Other fees had not played a role in this. A comparison was made between the fixed and market-priced power packages for the theatre. Although the fixed-price package would have been cheaper in 2021, later measurements showed that a market-price package was over-all a more reasonable choice for consumption patterns typical to theatres.

Subsequently, week-long electrical measurements were performed in both sections of the main switchboard of the theatre's highest-consumption connection point to obtain accurate data on voltages, currents and powers with one second resolution. Based on the measurement results, the building's electrical quality parameters were analyzed.

The voltages were found to be noticeably above rated values. The negative power factor caused by the production of reactive energy in the theatre seemed to be at blame for this. Although the share of money paid for reactive power on electricity bills is currently very small, a compensation solution should still be considered in the event of arising technical problems. There was also some harmonic distortion, but not at a worrying level (the highest 10-minute average value of THD was 5.5%). The asymmetry of single-phase loads also attracted some attention due to the current imbalance being 23.4% on

average at the connection point. To improve this, it was recommended to modify the electrical installation and to better balance the equipment between phases.

The electricity consumers of the building were further divided into three different segments and each segment was observed and analyzed separately. Firstly, the typically largest consumer in such buildings: heating, cooling and ventilation.

As district heating is used in Eesti Noorsooteater, it was not possible to give direct advice for reducing electricity bills. Nevertheless, it was recommended, wherever possible, to utilise down-regulation of radiator thermostats to reduce heating bills, and to consider replacing radiators with a more energy-efficient underfloor heating water system if high investment costs are not an obstacle.

The cooling system in the Noorsooteater is mostly solved with a large and central Siemens system, which regulates the degree of indoor cooling according to the outdoor temperature. In general, indoor temperature sensors would be preferred to monitoring the outdoor temperature, as changes in indoor temperatures are influenced by far more factors than the device's algorithm could predict.

CO2 sensors are used in the stages to control the ventilation system, but their use could be extended to the rest of the building, as such there would be minimal possibility of under- or over-ventilation everywhere. In addition, it would be good to make sure that the ventilation system is regularly maintained, as the accumulation of dirt / dust on the components or unknown wear of components can significantly increase the system's energy consumption.

The lighting of the building was also examined. Regarding the interior lighting solution, it was positive that incandescent lamps are not used or that only a few are still in use. However, the switching of lights is all done manually, so it was recommended that the theatre explores possibilities to use sensors to completely minimize unnecessary operation of the luminaires, especially in areas not meant for visitors. The museum part of the theatre, Nukutearimuuseum, still uses a number of filament spotlights and they should certainly be replaced with LED versions, as the spotlights are used every day and continuously and the difference in power consumption can be significant in the end. In the case of outdoor lighting, dim sensors are being used, which is a good solution.

Even with office equipment, a small amount of energy can be saved by following very simple principles: each device should have sleep mode settings in place to avoid

unnecessary power consumption when the device is not in use, and it is a good idea to completely disconnect all equipment before leaving work (for example with an extension cord switch). This is so that parasitic idle consumption would not occur. The energy consumption of such devices depends mainly on the behavior of their users.

For the purpose of providing a summarizing example to the theatre, the average monthly energy consumption of the whole building in 2021 (21.3 MWh) and the amounts paid for heating and electricity (€ 2,500 and € 3,100, respectively) were calculated. This information was used to estimate the share of total consumption for all equipment/systems analyzed in order to also estimate the potential monthly savings from implementing the aforementioned, recommended energy saving strategies. The results showed that by implementing all the measures, the summarized monthly heating and electricity costs could possibly be reduced from 5600 euros to 4100 euros, or by about ~ 27%.

Finally, on the basis of the analyzed energy saving measures, a summary list of activities was presented for other theatres, in which were named all the activities that could be done in order to reduce electricity bills, in order of priority. In short, the list comprised of the following steps:

- first, to analyze both consumption data and electricity bills of the recent past;
- secondly, to carry out thorough measurements in the electrical installation and to examine and improve the electrical quality parameters according to the results;
- thirdly, to optimize the heating, cooling and ventilation systems of the building, whether by replacing equipment, regular maintenance or by modernizing the control principles;
- fourthly, to carry out a revision of all the lighting fixtures in the building, which includes replacing old and inefficient luminaires with newer, more economical ones as well as implementing smarter lighting control methods and, if possible, dimming;
- fifthly, the last step could be to optimise the use of more regular appliances and electronics, such as office equipment. This includes the training of employees so that they know how to behave more energy-efficiently.

In general, Eesti Noorsooteater left the impression that the principles of energy savings are understood there and that constant efforts are being made to improve the situation. Understandably, in the real world resources are often limited when it comes to implementing new solutions, especially in today's financially difficult times. Hopefully Eesti Noorsooteater and also other theatres will find help from the information presented in the thesis.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] K. Põlendik ja K. Vähi, „Teatrite eelarves lisaraha elektri hinna kasvuks ette nähtud pole“, *ERR*, 8. november 2021. <https://www.err.ee/1608393110/teatrite-eelarves-lisaraha-elektrihinna-kasvuks-ette-nahtud-pole> (vaadatud 30. märts 2022).
- [2] Statistikaamet, „KU086 - Teatrid“, 2. juuni 2022. <http://andmebaas.stat.ee/Index.aspx?DataSetCode=KU086> (vaadatud 30. märts 2022).
- [3] Greater London Authority, „Green Theatre Summary“. august 2008. Vaadatud: 13. november 2021. [Online]. Available at: [https://www.london.gov.uk/sites/default/files/green\\_theatre\\_summary.pdf](https://www.london.gov.uk/sites/default/files/green_theatre_summary.pdf)
- [4] „Teatrist“, *SA Eesti Noorsooteater*, 20. aprill 2018. <https://www.eestinoorsooteater.ee/et/teatrist> (vaadatud 6. veebruar 2022).
- [5] SA Eesti Noorsooteater, „Sihtasutus“, 6. veebruar 2016. <https://www.eestinoorsooteater.ee/et/sa-eesti-noorsooteater> (vaadatud 31. märts 2022).
- [6] European Commission, „Energy use in buildings“, *Energy - European Commission*. [https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-factsheets-topics-tree/energy-use-buildings\\_en](https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-factsheets-topics-tree/energy-use-buildings_en) (vaadatud 12. veebruar 2022).
- [7] „Elektrilevi võrguteenuse hinnakiri“. Elektrilevi OÜ, jaanuar 2020. Vaadatud: 16. mai 2022. [Online]. Available at: [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)
- [8] „Iga-aastane elektri ning gaasi turuhindade võrdlus“, *Elektrihind.ee – elektripakettide võrdlusportaal*. <https://elektrihind.ee/2022/04/13/elektri-ning-gaasi-turuhindade-vordlus-2/> (vaadatud 2. mai 2022).
- [9] M. Hunt, „Elektrilevi OÜ 0,4 kV voolutrafodega mõõtesüsteemid, kontroll ja selle vajalikkus“, *Eesti Maaülikool, Tartu*, 2018.
- [10] Pansini Anthony J, *Guide to Electrical Power Distribution Systems*. Lilburn (Ga.): Boca Raton (Fla.): Fairmont Press; Distributed by Dekker/CRC Press, 2005.
- [11] Dr. P. R. Mohan, N. Mallikarjuna, ja K. N. Kumar, „A Novel Over Voltage and Under Voltage Protecting System for Industrial and Domestic Applications“, *Int. J. Innov. Sci. Res. Technol.*, kd 5, nr 10, lk 885–889, 2020.
- [12] „Paketid“, *Elektrihind.ee – elektripakettide võrdlusportaal*. <https://elektrihind.ee/paketid/> (vaadatud 17. mai 2022).
- [13] „Historical Market Data“, *Nord Pool Group*, 16. mai 2022. <https://www.nordpoolgroup.com/en/historical-market-data/> (vaadatud 16. mai 2022).
- [14] Z. Nikolov, Z. Hlebarov, C. Korsemov, ja H. Toshev, „Distribution of Active and Reactive Energy in a Power Line“, lk 14.
- [15] A. Mesilane, „Taltech NRG õppehoone elektri kvaliteedi ja reaktiivenergia kompenseerimise vajaduse analüüs“, *Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn*, 2020. Vaadatud: 14. mai 2022. [Online]. Available at: <https://digikogu.taltech.ee/testimine/et/Download/979332f9-3c4f-4020-acd3-383935f97ad1>
- [16] W. Hofmann *et al.*, *Reactive Power Compensation: A Practical Guide*. New York, UNITED KINGDOM: John Wiley & Sons, Incorporated, 2012. Vaadatud: 7. aprill



2022. [Online]. Available at:  
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/tuee/detail.action?docID=861625>
- [17] C. Somavanshi, „Difference Between Unity, Lagging, Leading Power Factor, Definition“, *CS Electrical & Electronics*, 31. juuli 2020.  
<https://www.cselectricalandelectronics.com/difference-between-unity-lagging-leading-power-factor/> (vaadatud 17. mai 2022).
- [18] A. E. Emanuel, „On the definition of power factor and apparent power in unbalanced polyphase circuits with sinusoidal voltage and currents“, *IEEE Trans. Power Deliv.*, kd 8, nr 3, lk 841–852, 1993, doi: 10.1109/61.252612.
- [19] K. Kürsa, *Elektrijaotusvõrkude reaktiivvõimsuse reguleerimisvõimaluste ja mõjude analüüs. Analysis of reactive power regulation options and their influence in distribution networks*. 2018. Vaadatud: 24. aprill 2022. [Online]. Available at:  
<http://digikogu.taltech.ee/et/item/cbfaa72f-4b7b-45c1-be72-5efb3ae18ecb>
- [20] A. A. AbdElhafez, S. H. Alruways, Y. A. Alsaif, M. F. Althobaiti, A. B. AlOtaibi, ja N. A. Alotaibi, „Reactive Power Problem and Solutions: An Overview“, *J. Power Energy Eng.*, kd 5, nr 5, Art. nr 5, mai 2017, doi: 10.4236/jpee.2017.55004.
- [21] A. Baggini ja A. Sumper, *Electrical Energy Efficiency: Technologies and Applications*. Hoboken, UNITED KINGDOM: John Wiley & Sons, Incorporated, 2012. Vaadatud: 7. aprill 2022. [Online]. Available at:  
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/tuee/detail.action?docID=875759>
- [22] J. Parmar, „How reactive power is helpful to maintain a system healthy“, *EEP - Electrical Engineering Portal*, 29. august 2011. <https://electrical-engineering-portal.com/how-reactive-power-is-helpful-to-maintain-a-system-healthy> (vaadatud 14. mai 2022).
- [23] S. Sithole, N. Mbuli, ja JHC. Pretorius, „Voltage regulation in the douglas area using shunt capacitor banks and controllable shunt reactors“, *2013 13th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, nov 2013, lk 85–90. doi: 10.1109/EEEIC-2.2013.6737888.
- [24] F. C. D. L. Rosa, *Harmonics, Power Systems, and Smart Grids, 2nd Edition*. CRC Press, 2017.
- [25] R. Armas, *Väiketootja mõju pingekvaliteedile jaotusvõrgus Elektrilevi OÜ näitel*. 2014. Vaadatud: 15. mai 2022. [Online]. Available at:  
<http://digikogu.taltech.ee/et/item/f611b237-808e-4807-a7e6-8adf6cda1bfc>
- [26] E. Csanyi, „Balancing of single-phase loads to achieve energy efficiency“, *Electrical Engineering Portal*, 24. oktoober 2015. <https://electrical-engineering-portal.com/balancing-of-single-phase-loads-to-achieve-energy-efficiency> (vaadatud 31. märts 2022).
- [27] „Guidelines on the calculation and use of loss factors“. Electricity Authority (New Zealand), 26. juuni 2018. Vaadatud: 14. mai 2022. [Online]. Available at:  
<https://www.ea.govt.nz/assets/dms-assets/23/23583Guidelines-on-the-calculation-and-the-use-of-loss-factors-for-reconciliation-purposes.pdf>
- [28] F. Knobloch, J.-F. Mercure, H. Pollitt, U. Chewpreecha, ja R. Lewney, *FTT:Heat - A simulation model for technological change in the residential heating sector*. 2018.
- [29] C. H. Hansen, O. Gudmundsson, ja N. Detlefsen, „Cost efficiency of district heating for low energy buildings of the future“, *Energy*, kd 177, apr 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.04.046.
- [30] „What is a thermostatic valve (TRV)?“, *Jaga Home Heating*, 13. juuli 2016.  
<https://www.jagahomeheating.co.uk/content-hub/tips-advice/what-is-a-thermostatic-valve-trv.html> (vaadatud 1. aprill 2022).

- [31] „Underfloor Heating vs Radiators - Which is the Best Option?“, *Nu-Heat*, 23. veebruar 2022. <https://www.nu-heat.co.uk/blog/underfloor-heating-vs-radiators/> (vaadatud 15. mai 2022).
- [32] Eurostat, „Energy consumption and use by households“, 26. juuni 2020. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20200626-1> (vaadatud 26. veebruar 2022).
- [33] Empire State Plumbing, „7 Ways to Make Your Hot Water Heater More Energy Efficient“, *Empire State Plumbing*, 7. mai 2019. <https://www.empirestateplumbing.com/about-us/news-and-events/34156-7-ways-to-make-your-hot-water-heater-more-energy-efficient.html> (vaadatud 30. märts 2022).
- [34] T. Martin, „How to adjust your water heater temperature“, *CNET*. <https://www.cnet.com/home/smart-home/how-to-adjust-the-temperature-of-your-water-heater/> (vaadatud 15. mai 2022).
- [35] Elering, „Tarbimise juhtimine“. Elering, 20. juuni 2014. Vaadatud: 24. aprill 2022. [Online]. Available at: [https://elering.ee/sites/default/files/attachments/Tarbimise\\_juhtimine\\_1.pdf](https://elering.ee/sites/default/files/attachments/Tarbimise_juhtimine_1.pdf)
- [36] „Cooling systems for buildings“. [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Cooling\\_systems\\_for\\_buildings](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Cooling_systems_for_buildings) (vaadatud 1. mai 2022).
- [37] Archtoolbox, „Basics of Building Heating and Cooling“. <https://www.archtoolbox.com/basics-of-building-heating-and-cooling/> (vaadatud 28. aprill 2022).
- [38] J. Atkinson, Y. Chartier, C. L. Pessoa-Silva, P. Jensen, Y. Li, ja W.-H. Seto, *Concepts and types of ventilation*. World Health Organization, 2009. Vaadatud: 1. aprill 2022. [Online]. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK143277/>
- [39] „Soojustagastusega ventilatsioon - tervislik sisekliima, parem uni, parem tervis“, *EnergiaStuudio*, 27. aprill 2021. <https://energiastuudio.ee/est/soojustagastusega-ventilatsioon-tervislik-sisekliima-parem-uni-parem-tervis/> (vaadatud 1. aprill 2022).
- [40] „Importance of Industrial Ventilation Systems Maintenance“, *Eldridge USA*. <https://eldridgeusa.com/blog/industrial-ventilation-systems-maintenance-importance/> (vaadatud 1. mai 2022).
- [41] D. M. Zenebe ja L. Matti, „Investigation on nature of waste heat from incandescent light bulbs“, *2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, mai 2011, lk 1–4. doi: 10.1109/EEEIC.2011.5874653.
- [42] R. Lenk ja C. Lenk, *Practical Lighting Design with LEDs*. New York, UNITED STATES: John Wiley & Sons, Incorporated, 2017. Vaadatud: 7. aprill 2022. [Online]. Available at: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tuee/detail.action?docID=4825489>
- [43] S. Kushwaha, „A Comprehensive Study of Various Lamps Through Energy Flow Diagrams (EFDs)“, mai 2011. doi: 10.13140/2.1.4845.1528.
- [44] „Comparing LED vs CFL vs Incandescent Light Bulbs“, *Viribright® LED Lights*, 5. aprill 2017. <https://www.viribright.com/lumen-output-comparing-led-vs-cfl-vs-incandescent-wattage/> (vaadatud 7. aprill 2022).
- [45] Energy Star, „Learn About LED Lighting“, 29. märts 2022. [https://www.energystar.gov/products/lighting\\_fans/light\\_bulbs/learn\\_about\\_led\\_bulbs](https://www.energystar.gov/products/lighting_fans/light_bulbs/learn_about_led_bulbs) (vaadatud 31. märts 2022).

- [46] T. Harris, C. Pollette, ja W. Fenlon, „How Light Emitting Diodes (LEDs) Work“, *HowStuffWorks*, 11. veebruar 2021. <https://electronics.howstuffworks.com/led.htm> (vaadatud 31. märts 2022).
- [47] MasterControl, „What is LED Lighting“, *Atom Lighting*, 6. september 2021. <https://atomlighting.com.au/what-is-led-lighting/> (vaadatud 1. aprill 2022).
- [48] Theben, „TR 608 top2 S“. Theben, 6. september 2021. [Online]. Available at: <https://www.theben.de/ocsmedia/optimized/full/o12940v78%20TR%20608%20top2%20S%20-%20Data%20sheet.pdf>
- [49] Northwestern University, „Power Management Statistics“, 20. detsember 2018. <https://www.it.northwestern.edu/hardware/eco/stats.html> (vaadatud 26. veebruar 2022).
- [50] K. Kawamoto, Y. Shimoda, ja M. Mizuno, „Energy saving potential of office equipment power management“, *Energy Build.*, kd 36, nr 9, lk 915–923, 2004, doi: 10.1016/j.enbuild.2004.02.004.
- [51] S. Mudgal, K. Meuhmel, ja E. Labouze, „Harmonised approach to address standby power losses through international policy“, 2012, lk 1–6. Vaadatud: 31. märts 2022. [Online]. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6360460>
- [52] „A Quick Guide To Using CO2 Sensors to Control Building Ventilation“, *Disruptive Technologies*, 21. veebruar 2022. <https://www.disruptive-technologies.com/blog/why-use-co2-sensors-to-control-building-ventilation> (vaadatud 10. aprill 2022).

## **LISAD**

## Lisa 1 Noorsooteatri igakuine elektri tarbimine aastatel 2018-2019

Kalendrikuu	Päevasel ajal tarbitud aktiiv- võimsus, kWh	Öisel ajal tarbitud aktiiv- võimsus, kWh	Tarbitud aktiiv- võimsus kokku, kWh	Võrgust tarbitud reaktiiv- võimsus, kvarh	Võrku antud reaktiiv- võimsus, kvarh
<b>2018</b>					
jaanuar	15832	11519	27351	0	1026
veebruar	14266	10235	24500	0	868
märts	15466	11747	27213	0	2509
aprill	13604	10009	23613	0	2129
mai	14365	9397	23762	0	2061
juuni	12334	9196	21530	0	1746
juuli	12532	9276	21808	2448	1581
august	11944	8517	20461	0	1657
september	11814	10002	21816	0	1878
oktoober	14888	9894	24782	0	2203
november	15528	10269	25 797	0	2363
detsember	13579	11609	25 188	0	2238
Kokku	166151	121670	287821	2448	22259
<b>2019</b>					
jaanuar	15250	10203	25453	0	2006
veebruar	13478	9659	23137	0	1839
märts	13928	12390	26318	0	1972
aprill	13367	8631	21998	0	2147
mai	14518	9625	24143	0	1886
juuni	13238	11333	24571	2695	1576
juuli	9926	7109	18279	2185	1452
august	8313	7188	16445	2832	1462
september	11999	9244	23628	0	1901
oktoober	13265	9026	25029	0	4631
november	12488	9768	25536	0	3906
detsember	12639	10085	25679	0	4875
Kokku	152409	114260	280216	7712	29653

## Lisa 2 Noorsooteatri igakuine elektri tarbimine aastatel 2020-2021

Kalendrikuu	Päevasel ajal tarbitud aktiiv- võimsus, kWh	Öisel ajal tarbitud aktiiv- võimsus, kWh	Tarbitud aktiiv- võimsus kokku, kWh	Võrgust tarbitud reaktiiv- võimsus, kvarh	Võrku antud reaktiiv- võimsus, kvarh
<b>2020</b>					
jaanuar	15058	8837	23894	0	4429
veebruar	13846	9532	23378	0	3299
märts	11276	8414	19690	0	502
aprill	5768	5213	10981	0	307
mai	9900	7366	17267	0	1223
juuni	14093	8512	22605	0	1758
juuli	11542	7546	17171	0	1278
august	10970	9787	20757	0	1306
september	12520	8814	21334	0	2791
oktoober	13642	9978	23620	0	3967
november	13408	9847	23254	0	3683
detsember	13572	9537	23110	0	3418
Kokku	145595	103383	247060	0	27961
<b>2021</b>					
jaanuar	13367	11804	25171	0	3495
veebruar	11921	9798	21719	0	3101
märts	10811	8259	19070	0	617
aprill	9068	7045	16113	0	442
mai	11976	9651	21627	0	1369
juuni	15254	10170	25424	0	1364
juuli	10088	7437	17525	0	1102
august	9004	7185	16189	0	991
september	13120	8767	21887	0	943
oktoober	12461	10361	22821	0	3281
november	13769	10044	23813	0	3165
detsember	13838	10271	24109	0	3191
Kokku	144675	110793	255468	0	23060

**Lisa 3 Aasta 2018 elektriarvete koondinfo**

<b>Aasta 2018</b>	<b>jaan</b>	<b>veebr</b>	<b>märts</b>	<b>apr</b>	<b>mai</b>	<b>juuni</b>	<b>juuli</b>	<b>aug</b>	<b>sept</b>	<b>okt</b>	<b>nov</b>	<b>dets</b>
Elektrienergia hind, €/MWh	37,1	43,4	45,3	39,9	38,7	47,8	54,1	55,4	50,9	46,4	52,6	53,1
Elektrienergia eest makstud, €	1015	1063	1233	942	920	1029	1180	1134	1110	1150	1357	1337
VML2, edastamistasu päevatariif, €/MWh	33,5											
VML2 edastamistasu päevatariif, €	530	478	518	456	481	413	420	400	396	499	520	455
VML2 edastamistasu öötariif, €/kWh	19,8											
VML2 edastamistasu öötariif, €	228	203	233	198	186	182	184	169	198	196	203	230
VML1 kuutasu (VML19), €	0											
VML2 kuutasu (VML29), €	53,6											
VML1 võrguühenduse läbilaskevõime, A-põhine (VML11), €	0											
VML2 võrguühenduse läbilaskevõime, A-põhine (VML21), €	228											
Elektriaktsiisi määr, €/MWh	4,5											
Elektriaktsiisi määr, €	122	110	122	106	106	96,2	97,5	91,5	97,5	111	115	113
Taastuenergia tasu määr, €/MWh	8,9											
Taastuenergia tasu määr, €	243	218	242	210	211	192	194	182	194	221	230	224
R5 Reaktiivenergia tarbimine alla 6 kV pingel, €/Mvarh	5,4											
R5 Reaktiivenergia tarbimine alla 6 kV pingel, €	-	-	-	-	-	-	13,2	-	-	-	-	-
R6 Reaktiivenergia võrku andmine alla 6 kV pingel, €/Mvarh	7,6											
R6 Reaktiivenergia võrku andmine alla 6 kV pingel, €	7,8	6,6	19,1	16,2	15,7	13,3	12	12,6	14,3	16,7	18	17
Elektriarve kokku, €	2428	2360	2648	2210	2202	2207	2382	2270	2292	2474	2725	2658

**Lisa 4 Aasta 2019 elektriarvete koondinfo**

<b>Aasta 2019</b>	<b>jaan</b>	<b>veebr</b>	<b>märts</b>	<b>apr</b>	<b>mai</b>	<b>juuni</b>	<b>juuli</b>	<b>aug</b>	<b>sept</b>	<b>okt</b>	<b>nov</b>	<b>dets</b>
Elektrienergia hind, €/MWh	55,8	47,3	40,1	42,2	42,3	43,5	48,9	49,1	48,8	47,7	45,7	39,1
Elektrienergia eest makstud, €	1419	1094	1055	928	1022	1068	894	807	1152	1193	1167	1003
VML1 edastamistasu põhitariif, €/MWh	0						25,6					
VML1 põhitariif, €	0	31,9	24,2	61,1	70,1	84,0	75,7					
VML2 päevane tariif, €/MWh	30,2											
VML2 päevatariif, €	461	407	421	404	438	400	300	251	362	401	377	382
VML2 öötariif, €/MWh	17,8											
VML2 öötariif, €	182	172	221	154	171	202	127	128	165	161	174	180
VML1 kuutasu (VML19), €	0						17,9					
VML2 kuutasu (VML29), €	35,7											
VML1 võrguühenduse läbilaskevõime, A-põhine (VML11)	0						95					
VML2 võrguühenduse läbilaskevõime, A-põhine (VML21)	228						133					
Elektriaktsiisi määr, €/MWh	4,5											
Elektriaktsiisi määr, €	114	103	118	98,3	108	110	81,7	73,5	106	112	114	115
Taastuenergia tasu määr, €/MWh	10,4											
Taastuenergia tasu määr, €	265	241	274	229	251	256	190	171	246	260	266	267
R5 Reaktiivenergia tarbimine alla 6 kV pingel, €/Mvarh	5,1											
R5 Reaktiivenergia tarbimine alla 6 kV pingel, €	0	0	0	0	0	13,7	11,1	14,4	0	0	0	0
R6 Reaktiivenergia võrku andmine alla 6 kV pingel, €/Mvarh	7											
R6 Reaktiivenergia võrku andmine alla 6 kV pingel, €	14	12,9	13,8	15	13,2	11	10,2	10,2	13,3	32,4	27,3	34,1
Elektriarve kokku, €	2736	2311	2383	2109	2285	2341	1927	1761	2387	2510	2491	2337



**Lisa 5 Aasta 2020 elektriarvete koondinfo**

<b>Aasta 2020</b>	<b>jaan</b>	<b>veebr</b>	<b>märts</b>	<b>apr</b>	<b>mai</b>	<b>juuni</b>	<b>juuli</b>	<b>aug</b>	<b>sept</b>	<b>okt</b>	<b>nov</b>	<b>dets</b>
Elektrienergia hind, €/MWh	33,8	31	27,2	23,9	28,2	44,2	33,1	45,2	43	43	47,6	52,3
Elektrienergia eest makstud, €	808	724	535	262	486	998	568	939	918	1015	1107	1208
VML2, edastamistasu päevatariif, €/MWh	30,2											
VML2 edastamistasu päevatariif, €	444	407	334	171	292	415	338	331	378	412	405	410
VML2 edastamistasu öötariif, €/MWh	17,8											
VML2 edastamistasu öötariif, €	157	170	150	93	131	152	140	174	157	178	175	170
VML1 kuutasu (VML19), €	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VML2 kuutasu (VML29), €	53,6											
VML1 võrguühenduse läbilaskevõime, A-põhine (VML11), €	0											
VML2 võrguühenduse läbilaskevõime, A-põhine (VML21), €	228											
Elektriaktsiisi määr, €/MWh	4,5											
Elektriaktsiisi määr, €	122	110	122	106	106	96,2	97,5	91,5	97,5	111	115	113
Taastuenergia tasu määr, €/MWh	8,9											
Taastuenergia tasu määr, €	107	105	88	49	17	23	17	21	21	24	23	23
R5 Reaktiivenergia tarbimine alla 6 kV pingel, €/Mvarh	5,4											
R5 Reaktiivenergia tarbimine alla 6 kV pingel, €	0											
R6 Reaktiivenergia võrku andmine alla 6 kV pingel, €/Mvarh	7											
R6 Reaktiivenergia võrku andmine alla 6 kV pingel, €	31	23,1	3,51	2,15	8,56	12,3	8,94	9,15	19,5	27,8	25,8	23,9
Elektriarve kokku, €	2099	1975	1615	983	1412	2137	1547	1990	2016	2205	2281	2377

**Lisa 6 Aasta 2021 elektriarvete koondinfo**

<b>Aasta 2021</b>	<b>jaan</b>	<b>veebr</b>	<b>märts</b>	<b>apr</b>	<b>mai</b>	<b>juuni</b>	<b>juuli</b>	<b>aug</b>	<b>sept</b>	<b>okt</b>	<b>nov</b>	<b>dets</b>
Elektrienergia hind, €/MWh	56,7	62,6	46,5	46,0	51,7	74,0	88,5	90,1	128	116	129	220
Elektrienergia eest makstud, €	1428	1360	887	741	1119	1881	1551	1459	2807	2648	3071	5315
VML2, edastamistasu päevatariif, €/MWh	30,2											
VML2 edastamistasu päevatariif, €	444	407	334	171	292	415	338	331	378	412	405	410
VML2 edastamistasu öötariif, €/MWh	17,8											
VML2 edastamistasu öötariif, €	404	360	327	274	362	461	305	272	396	378	420	410
VML1 kuutasu (VML19), €	0											
VML2 kuutasu (VML29), €	53,6											
VML1 võrguühenduse läbilaskevõime, A-põhine (VML11), €	0											
VML2 võrguühenduse läbilaskevõime, A-põhine (VML21), €	228											
Elektriaktsiisi määr, €/MWh	1											
Elektriaktsiisi määr, €	122	110	122	106	106	96,2	97,5	91,5	97,5	111	115	113
Taastuenergia tasu määr, €/MWh	11,3											
Taastuenergia tasu määr, €	107	105	88	49	17	23	17	21	21	24	23	23
R5 Reaktiivenergia tarbimine alla 6 kV pingel, €/Mvarh	5,4											
R5 Reaktiivenergia tarbimine alla 6 kV pingel, €	0											
R6 Reaktiivenergia võrku andmine alla 6 kV pingel, €/Mvarh	7											
R6 Reaktiivenergia võrku andmine alla 6 kV pingel, €	24,5	21,7	4,32	3,1	9,58	9,54	7,71	6,93	6,6	23,0	22,2	22,3
Elektriarve kokku, €	2657	2465	1881	1623	2209	3126	2537	2346	3891	3796	4267	6509

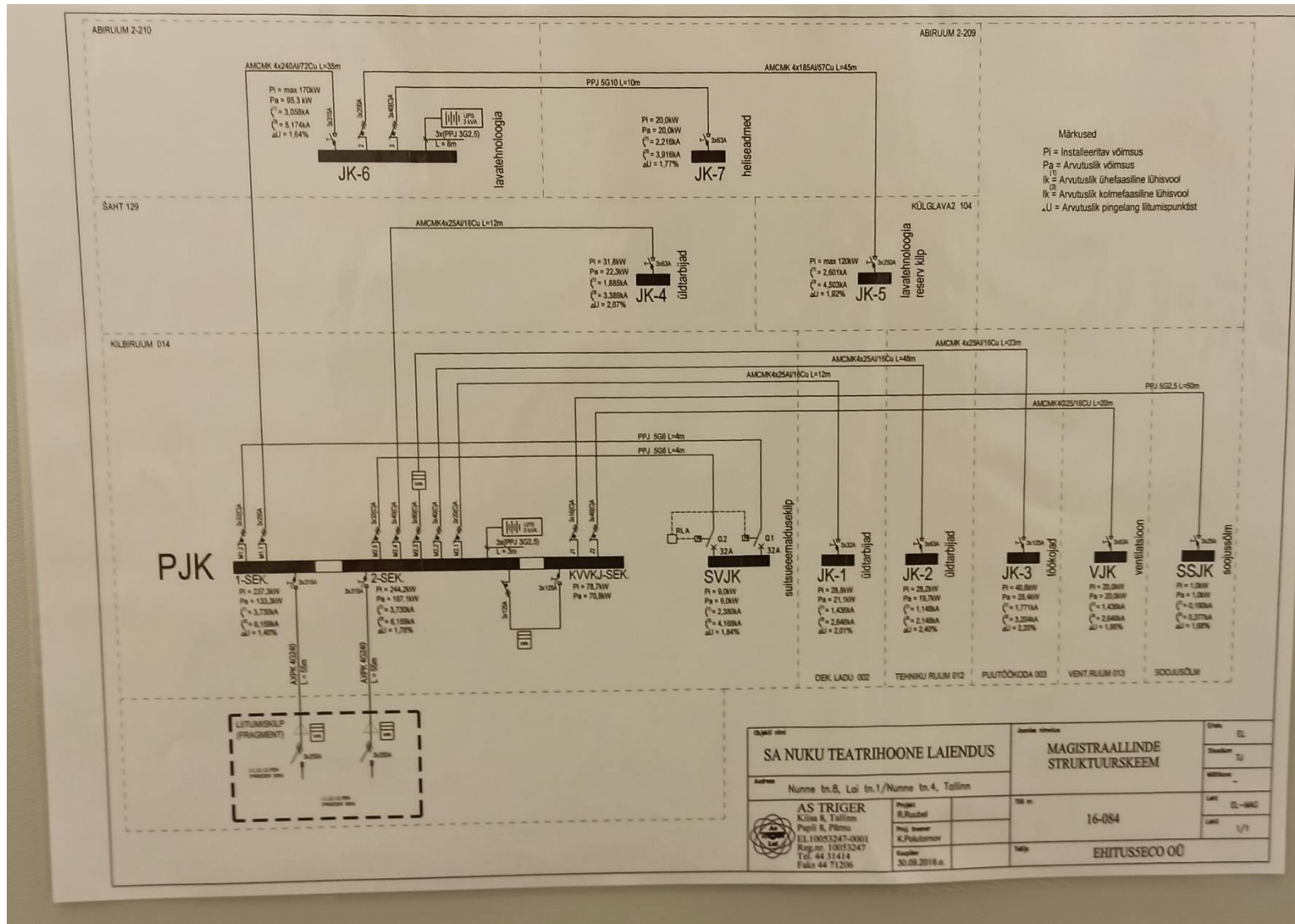
**Lisa 7 Esimeses seksioonis kasutatud mõõteseade – A-Eberle PQ-Box 300**



Lisa 8 Teises seksioonis kasutatud mõõteseade – Qualitrol Informa PMD-A



## Lisa 9 Noorsooteatri Nunne tn 4 hoone elektriskeem



**Lisa 10 Ventilatsiooniruum Nunne tn 4 hoones – Siemensi jahutussüsteem**

