



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maehitusinstituut

Julia Vizel

**ENERGIATÕHUSUS VÄÄTSA EAKATE KODU NÄITEL –
MONITOORINGU ROLL ENERGIATÕHUSUSE
ANALÜÜSIS NING OPTIMEERIMISMUDELI
KOOSTAMINE**

ENERGY EFFICIENCY IN VÄÄTSA RETIREMENT HOME –
THE ROLE OF MONITORING IN ANALYSIS AND PROPOSED
MODEL FOR ENERGY OPTIMIZATION

Magistritöö

Maaehituse õppekava

Juhendajad: Jüri Org
vanemspetsialist Martti-Jaan Miljan

Tartu 2016

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Julia Vizel		Õppekava: Maehitus	
Pealkiri: Energiatõhusus Väätsa eakate kodu näitel – monitooringu roll energiatõhususe analüüsis ning optimeerimismudeli koostamine			
Lehekülgi: 77	Jooniseid: 33	Tabeleid: 9	Lisasid: 3
Osakond: Uurimisvaldkond: Juhendaja(d): Kaitsmiskoht ja aasta:		Maehituse osakond Energiatõhusus Jüri Org, Martti-Jaan Miljan Tartu 2016	
<p>Hoonete energiatõhusus on aktuaalne kogu maailmas. Hoonete monitooring energiatõhustamise meetmena on seejuures taastuvate energiaallikate kõrval kujunemas väga vajalikuks ja oluliseks viisiks optimeeritud tarbimise suunas.</p> <p>Antud töö eesmärgiks oli keskenduda hoonete monitooringu olulisusele ja seeläbi välja selgitada, kuidas hinnata opereeriva hoone toimivust energiatõhususe aspektist lähtuvalt, leida hoone mõõtmisandmete kaudu energiakasutuse kitsaskohad ning pakkuda energiakasutuse optimeerimist teoreetilise mudeli kaudu.</p> <p>Töös on kasutatud hoone mõõtmisandmeid üheaastase perioodi vältel.</p> <p>Andmeanalüüsi on teostatud empiriilise uurimise kaudu ning optimeerimislahenduste osas on kasutatud normaalvõrrandi meetodit ja mitme muutujaga lineaarse regressiooni algoritmi.</p> <p>Magistritöö tulemusena leiti, et hoone järjepidev monitooring on energiakasutuse optimeerimise aluseks juhul kui neid andmeid analüüsitakse, andmete jälgimine ja esitamine peavad olema tehtud võimalikult lihtsaks. Sisekliima parameetrite analüüsist selgus, et hoone sisetemperatuur on keskmiselt 1,5 kraadi kõrgem ning ventilatsioonisüsteemi õhuvahetuskordsus on liiga suur. Tulemusena on hoones 31% kavandatust suurem soojusenergiakulu ja 17% suurem elektrienergiakulu. Päikesenergiaga suudeti katta hoone elektrienergia vajadus 14% ulatuses ning sooja tarbevee energiat 28%. Optimeerimislahendusena välja töötatud mudeliga suudeti hoone koguenergiakulu vähendada 10,2%. Jätku-uuringutena oleks vaja mudelit katsetada energiatõhususe parameetritega koosmõju puhul ning välja töötada toimiv hoonete energiatõhustamise optimeerimismudel.</p>			
Märksõnad: energiatõhusus, monitooring, energiakasutus, optimeerimine, mudel.			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Julia Vizel		Specialty: Civil Engineering	
Title: Energy efficiency in Väätsa retirement home – the role of monitoring in analysis and proposed model for energy optimization			
Pages: 77	Figures: 33	Tables: 9	Appendixes: 3
Department:	Department of Rural Building		
Field of research:	Energy Efficiency		
Supervisors:	Jüri Org, Martti-Jaan Miljan		
Place and date:	Tartu 2016		
<p>Household energy efficiency is a hot topic worldwide. Building monitoring system as an energy efficiency measure is becoming a necessary addition to the use of renewable energies in the energy optimization.</p> <p>The objective of this work is to focus on the importance of building monitoring system and thereby to identify how to evaluate performance of a building in operation. How to find energy efficiency shortcomings of the recorded data. It also aims to present guidelines based on a theoretical model.</p> <p>The data is collected during a period of one year.</p> <p>The data analysis is performed using an empirical method and the optimization is applied using the linear optimization algorithm.</p> <p>It was concluded that the constant building monitoring is the base of energy use optimization assuming the data is analyzed. The presentation must be made as simple as possible. Indoor climate parameters analysis showed that building's room temperatures were 1,5 degrees higher than planned and too much ventilation takes places, which causes excessively high energy consumption. As a result the building's heating energy consumption was 31% more than designed. The same number for electric energy was 17% higher. 14% of the electric energy and 28% of water heating needs were covered by solar power. The composed model for optimization was able to lower the energy needs by 10,2%. More work should be performed to test the interaction of the influencing parameters in order to develop a working optimization model.</p>			
Keywords: energy efficiency, monitoring, energy consumption, optimization, model			

SISUKORD

SISUKORD	4
NOMENKLATUUR	6
SISSEJUHATUS	9
1. TEOREETILINE TAUST	11
1.1 Energiatõhususe areng	11
1.2 Energiatõhususe probleematika	14
1.3 Energiatõhususe põhielementide aktuaalsus	16
1.4 Monitooringu põhimõtted	17
2. UURITAVA HOONE ISELOOMUSTUS	20
2.1 Lühikirjeldus	20
2.2 Üldandmed	22
2.3 Tehnilised näitajad	22
2.4 Piirdetarindid	22
2.5 Tehnosüsteemide kirjeldus	23
2.5.1 Elekter	24
2.5.2 Automaatika	26
2.5.3 Küte	28
2.5.4 Soe tarbevesi	29
2.5.5 Ventilatsioon	29
3. ANALÜÜS	31
3.1 Analüüsi eesmärk	31
3.2 Kasutatud meetod	32
3.3 Andmestik	33
3.4 Seadmed ja tarkvara	34
3.5 Energiatõhusust mõjuatavad parameetrid	34
3.5.1 Inimesed	34
3.5.2 Temperatuur	35
3.5.3 Energeetiline bilanss	37
3.5.4 Elektrienergia	43
3.5.5 Soojusenergia	45
3.5.6 Soe tarbevesi	46
3.5.7 Ventilatsioonisüsteem	47

3.5.8	Energia hind.....	48
3.6	Vahekokkuvõte.....	51
3.7	Optimeerimine.....	52
3.7.1	Ventilatsiooniküte.....	54
3.7.2	Elektrienergia.....	56
3.7.3	Optimeerimine börsihinna kaudu.....	57
3.7.4	Optimeerimise kokkuvõte.....	58
4.	TULEMUSED JA ARUTELU.....	59
4.1	Probleemi analüütiline lahend.....	59
4.2	Monitooringu olulisusest.....	60
4.3	Tõhustamise meetmed.....	61
	KOKKUVÕTE.....	62
	ENERGY EFFICIENCY IN VÄÄTSA RETIREMENT HOME- THE ROLE OF MONITORING IN ANALYSIS AND PROPOSED MODEL FOR ENERGY OPTIMIZATION.....	64
	KASUTATUD KIRJANDUS.....	66
	LISAD.....	70
	Lisa 1. Väljastatud energiamärgis.....	71
	Lisa 2. Hooneautomaatika eripunktid.....	75
	Lisa 3. Küttesüsteemi joonis.....	76

NOMENKLATUUR

Tähised

CET/CEST	<i>(Central European Time/ Central European Summer Time)</i>	- Kesk-Euroopa aeg/ Kesk-Euroopa suvine aeg
CSV	<i>(comma-separated values)</i>	- komaga eraldatud väärtused
EET/EEST	<i>(Eastern European Time/Eastern European Summer Time)</i>	- Ida-Euroopa aeg/ Ida-Euroopa suvine aeg
EL		- Euroopa Liit
ETA		- energiatõhususarv [kWh/(m ² a)]
GMT	<i>(Greenwich Mean Time)</i>	- Euroopas kasutatav Greenwich observatooriumi läbiva null-meridiaani järgi defineeritud aeg
kWh		- kilovatt tund
LED	<i>(light-emitting diode)</i>	- valgusdiod
loger		- (andmete) registreerija
Lon-liides		- standardiseeritud ja tootjast sõltumatu siinisüsteem kohalike võrkude ehitamiseks nutikatest sensoritest
LonTalk protokollisüsteem		- standardiseeritud universaalne võrguprotokoll hooneautomaatika juhtimises
NPS	<i>(Nord Pool Spot)</i>	- elektribörs
ppm	<i>(parts per million)</i>	- osakest miljoni kohta

Mõisted

arukas arvestisüsteem – elektrooniline süsteem, mis on võimeline mõõtma energia tarbimist, andes tavapärasest arvestist rohkem teavet, ning on võimeline edastama ja vastu võtma andmeid elektroonilist sidevahendit kasutades;

energiatõhusus – töö, teenuse, kauba või energiaväljundi ja energiasisendi vaheline suhe;

energiatõhususarv – arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, millest arvatakse maha summaarne eksporditud energiatega kaalutud erikasutus;

energia lõpptarbimine, koguenergiatarve – kogu energia, mis tarnitakse tööstus-, transpordi-, teenuste ja põllumajandussektorile ning kodumajapidamistele. Tarned energia muundamise sektorile ja energiatööstusele endale on välja arvatud;

kraadpäev - üks kraadpäev väljendab 1 °C erinevust arvestusliku sisetemperatuuri ja ööpäeva (24 tunnise perioodi) keskmise välisõhu temperatuuri vahel;

kuluoptimaalse energiatõhususega hoone (cost-optimal energy efficiency building) – hoone, mille energiatõhususarvu piirväärtus tagab minimaalsed elutsükli kogukulud, mis moodustuvad ehitusmaksumusest ning iga-aastastest energia-, hooldus- ja käituskuludest (arvestuslikult elamutele 30 aasta ja mitteelamutele 20 aasta elutsükli nüüdisväärtuse investeerimisarvutusena);

külmasild (thermal bridge) – piirkond (punkt, joon, pind) hoone piirides, mille soojusläbivus on lokaalselt suurem külgnevate alade vastavast soojusläbivusest;

lignullenergiahoone (nearly zero energy building, nZEB) – parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhusus- ja taastuvenergiatehnoloogiate lahendustega tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille energiatõhususarv on suurem kui 0 kWh/(m²a), kuid mitte suurem kui Vabariigi Valitsuse määruses nr. 68 (30.08.2012) „Energiatõhususe miinimumnõuded“ sätestatud piirväärtus;

madalenergiahoone (low energy building) – parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhusus- ja taastuvenergiatehnoloogiate lahendustega tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille puhul ei eeldata lokaalset elektri tootmist taastuvenergiaallikast;

monitooring – objekti kuju või mõõtmete süstemaatiline mõõtmine ja jälgimine;

netonullenergiahoone (*net zero energy building, NZEB*), ka **Nullenergiahoone** (*zero energy building ZEB*) – hoone, mille energiatõhususarv on 0 kWh/(m²a). Netonullenergiahoonesse võidakse hankida tarnitud energiat, kui see kompenseeritakse eksporditud energiaga;

normaalaasta kraadpäevade arv – hoone asukoha piirkonna keskmine kraadpäevade arv aastas ajavahemikus 1975–2004;

primaarenergia – taastuvatest ja mittetaastuvatest energiaallikatest toodetud energia, mida ei ole muundatud ega transformeeritud;

primaarenergia tarbimine – brutosisetarbimine, välja arvatud mitteenergeetilised kasutusalaad;

sisekliima (*indoor climate*) – füüsikaliste, keemiliste, mikrobioloogiliste jm tegurite kompleksne kogum. Sisekliimat mõjutavad enim hoone piirded, ventilatsioon, küte ning jahutus. Sisekliima mõjutab oluliselt ruumides viibivate inimeste tervist, töövõimet ja enesetunnet;

soojusjuhtivus, ka soojuslähivus ehk U-väärtus (*thermal transmittance*) - on tarindi omadus, mis väljendab summaarset soojusvoolu (soojusjuhtivus + konvektsioon + kiirgus) vattides läbi 1 m² pinnaga tarindi, kui temperatuuride vahe erinevate keskkondade vahel on 1 K; U [W/(m²K)];

hoone tasakaalutemperatuur – temperatuur (°C), milleni tuleks hoones asuvaid ruume kütta või jahutada, et tagada hoones asuvate ruumide temperatuurile esitatavate nõuete täitmine. Õhu soojenemine tasakaalutemperatuurist ruumi temperatuurini toimub vabasoojuse mõjul;

vabasoojus – hoonesse sisenev päikesekiirgus, inimeste, seadmete ja valgustuse ning tehnosüsteemide soojuskaod.

SISSEJUHATUS

Elame muutuste ajastul. Energiasääst on aktuaalne kõikides eluvaldkondades. Regelementeeritakse hoonetele, seadmetele ja transpordile kuluvat energiat, ka energiatarbimise märgistus on ühtlustumas – seadmete ja hoonete märgis on juba kasutuses, tulemas on autodele mõeldud energiamärgis. Kuna suur osa koguenergiatarbest, keskmiselt 40% ulatuses kogu maailmas, langeb hoonetele, siis ka energia säästmine selles valdkonnas on arvestatav.

Energiatõhusaid hooneid, eelkõige liginullenergia-, nullenergia- ja plussenergiahooneid defineeritakse erialakirjanduses erinevalt. Nende arvestuspõhimõtted, regulatsioonid ja standardid on riigiti samuti erinevad. Tõlgendamisvariatsioonid on palju ning seetõttu arvtulemuste väärtused ei ole omavahel võrreldavad. Definitsioonide ühiseks nimetajaks kõikide puhul on taastuvate energiaallikate kasutamine samal krundil ning energiakadude ja energiavajaduste vahelise tasakaalu ehk kuluoptimaalsuse saavutamine.

Viie aasta pärast (1. jaanuarist 2021.a) on Eestis kuluoptimaalseks hooneks liginullenergiahoone. Energiahindade kiire kasv on soodustanud ehitussektori arengut ning energiatõhusate lahenduste otsimist. Üheks lahenduseks on taastuvenergeetika kasutamine ning teiseks, väga efektiivseks lahenduseks, on hoonete monitooring ja energiakasutuse optimeerimine, millele keskendub ka antud lõputöö. Maailmamajandus ennustab mõlema majandusharu kasvu kahekordistumist aastaks 2020.

Käesoleva magistritöö ajendiks on isiklik huvi energiatõhususe üheks efektiivseks lahenduseks peetava hoonete monitooringu ja energiakasutuse optimeerimise vastu ning sellest tulenev vajadus teada saada:

- kas monitooringu andmeanalüüsi kaudu on võimalik kindlaks määrata kuidas opereeriva hoone süsteem tervikuna (soojusenergia ja elektrienergia kasutus) töötab;
- kas või kuidas võimaldab hoonesse paigaldatud seadmete monitooring optimeerida hoone energiakasutust;
- kuidas olemasolevaid lahendusi kasutatakse kulude optimeerimiseks.

Lõputöö eesmärgiks on keskenduda hoonete monitooringu olulisusele ja seeläbi välja selgitada, kuidas hinnata valmis ehitatud, aasta aega opereeriva hoone toimivust energiatõhususe aspektist lähtuvalt, leida hoone mõõtmisandmete kaudu energiasäästu kitsaskohad ning pakkuda energiakasutuse säästuvõimalused optimeerimise kaudu.

Püstitatud eesmärkide saavutamiseks on teostatud teaduskirjanduse analüüs, hoonesse paigaldatud mõõteseadmete poolt kogutud andmete analüüs ning koostatud mitme muutujaga lineaarse regressiooni teoreetilisi mudeleid vabataarkvara GNU Octave abil. Lisaks teadusartiklitele on töös kasutatud teaduskonverentside ettekandeid, raporteid, raamatuid ja teisi uurimistöid. Kuna teema on aktuaalne, on ka kasutatav kirjandusallikate loetelu värsketele, valdavas enamuses paari viimase aasta allikatele toetuv.

Teadusartiklite analüüsi osas antakse ülevaade energiatõhususest üldiselt ja selle jõudmisest kuluoptimaalsuseni ehk liginullenergiahooneni Eesti puhul. Tuuakse välja valdkonna problemaatika ning otsitakse kinnitust teema aktuaalsuse kohta. Vaadeldakse hoonete haldamise ja monitooringu põhimõtteid ning regulatsioone, samuti energiatõhusate hoonete analüüsiks kasutatavate meetodite ülevaadet teistes teadustöodes.

Mõõteseadmete poolt kogutud andmeanalüüsi osale eelneb hoone lühikirjeldus, kus tutvustatakse analüüsitava hoone arhitektuurset printsiipi, piirdetarindeid ja tehnilisi näitajaid. Analüüsi osas kirjeldatakse kasutatavaid andmeid ja nende töötlemistarkvara, tuuakse välja analüüsi eesmärk ja meetod. Uurimisandmete põhjal on hinnatud erinevaid energiatõhusust mõjutavaid parameetreid ja nende omavahelist seost.

Teoreetilise mudeli osas on kirjeldatud andmepõhise mudeli (GNU Octave) töötamise põhimõtet, mudeli tõesust on seejuures kontrollitud, seejärel on püütud leida valitud parameetrite kaudu hoone energiakasutuse optimeerimisvõimalusi.

Lõpetuseks tehakse järeldused ja pakutakse välja uuritava hoone energiakasutuse tõhustamise võimalusi.

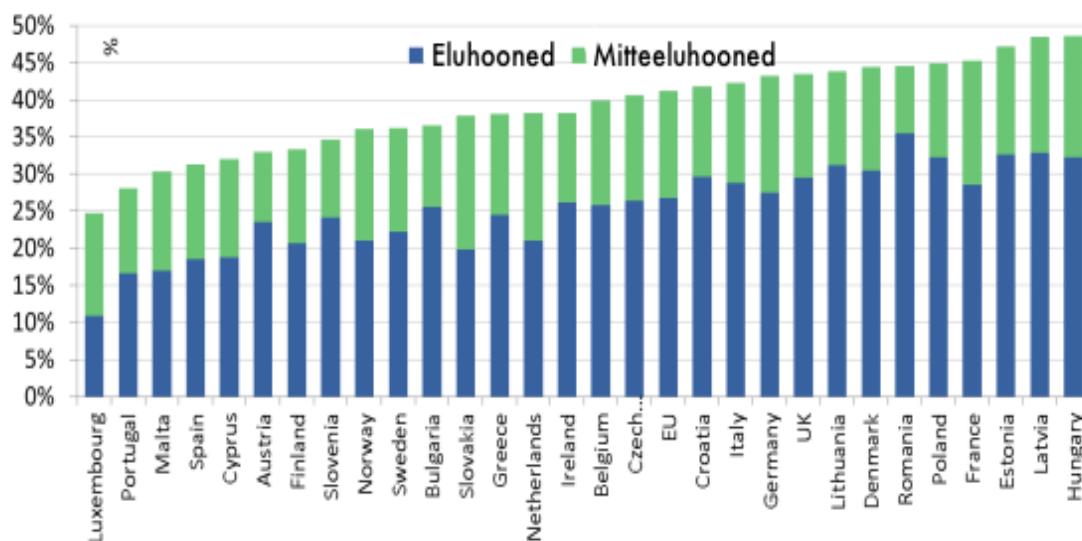
Käesoleva töö autor tänab lõputöö juhenadajaid Martti-Jaan Miljanit toetava ja positiivse suhtumise eest ning Jüri Orgu aktuaalse teema väljapakumise ja suunamise eest. Autor on tänulik Väätsa Vallavalitsuse ehitusnõunik Heigo Laaneoksale ning Väätsa eakate kodu juhataja Tiia Mettusele. Eriline tänu kuulub perekonnale igakülgse toetuse eest.

1. TEOREETILINE TAUST

1.1 Energiatõhususe areng

Hoonete energiatõhusus on läbi teinud suure arengu. Madalate energiahindade tõttu olid NSVL-i aegsed ehitised energiakulukad, lisaks olid tarindid ehitusviisilt suurte külmasildadega, mistõttu nende tegelik energiatarve oli veelgi suurem [1]. Uued ehitised tarbivad juba tänapäeval pool 1980 - ndatel tarbitud energiast Euroopas [2]. Eesmärk tarbida 20% vähem energiat kogu Euroopas on seatud aastaks 2020 ning juba 30% vähem aastaks 2030 [3].

Hoonete energiakasutus moodustab keskmiselt 40% summaarsest primaarenergia kasutusest Euroopa Liidus [4, 5]. 2015. aastal avaldatud andmetel kulub energia kogutarbest Euroopas keskmiselt 40% hoonetele, 32% transpordile, 26% tööstustele ning 2% põllumajandusele, Eesti koos Läti ja Ungariga eristuvad Euroopast hoonetele kuluva suurema, 47-49% osakaalu tõttu (joonis 1.1) [5].



Joonis 1.1 Hoonete osakaal energia lõpptarbes Euroopas 2012. aasta seisuga [5]

Energiatarve on pidevalt kasvav valdkond ning selle piiramine võimaldab vähendada energiasõltuvust ja kasvuhoonegaaside heidet leevendades seega ka kliimamuutust [3].

Kuni aastani 2008 kasvas energiatarve Euroopa Liidus kiiresti. Mitmele hoonete puhul on energiatarbe kasv olnud 74% viimase 20 aastaga, seda eeskätt tehnoloogiliste seadmete, arvutite ja konditsioneeride kasutuselevõtu tõttu [6]. Hetkel on kasvu tempo pisut aeglustunud langedes 1,9 kasvuprotsendilt aastatel 2000-2008 1,5 %-ni aastas alates 2008. aastast [5].

Eesti on energia saadavuse aspektist ühel parimal positsioonil Euroopas – importi vajavad vaid mootorkütus ja gaas [7], energeetilise sõltuvuse määr on täna 13,6 % ning 2020-2030. aastaks seatud eesmärk on hoida energia lõpptarbimine 2010. aastaga samal tasemel ja saavutada täielikku energeetilist sõltumatust [8], olles seejuures hoonetele kuluva suurema osakaaluga riike Euroopas [5].

Ameerika Ühendriikides on hoonetele kuluv energia primaarenergia kogutarbest Euroopaga sama ning Hiinas moodustab energiakasutus ligi 30% primaarenergia kasutusest. Sarnaselt Euroopa seatud tähtsusega on toimunud ka Ameerika Ühendriigid, Suurbritannia, Kanada ja Jaapan [9]. Seega hoonete energiatarbimise mõju kogu energiatarbele maailmas on märkimisväärne ning säästmise antud valdkonnas on tõhus.

Saavutamaks seatud eesmärki kulutada 20% vähem energiat Euroopas aastaks 2020 on lisaks energia kõrgele hinnale võimalik mõjutada tarbimist läbi EL kehtestatud määruste ja riigiti koostatud seaduste; rekonstrueerimisele, taastuvenergeetikale mõeldud toetuste kaudu; teavituskampaaniate ja spetsialistide koolitamise kaudu [7]. Kõiki neid meetmeid ka rakendatakse. Energia hind on kõrge. Taastuvenergeetika arengut toetatakse [10, 11]. Energiatõhustamise ühe meetmena on Euroopa Liidu direktiivist tulenev 2021. aasta 1. jaanuarist kehtima hakkav kõikide uute hoonete liginullenergiahoonetena ehitamise nõue [3]. Energiatõhustamise teavituse meetmena kasutuses olev energiamärgistus seadmete ja hoonete puhul on hästi juurdunud ja kõigile arusaadav.

Direktiivist tulenev kõikide uute hoonete liginullenergiahoonetena ehitamise nõue hakkab kehtima juba viie aasta pärast, kuid liginullenergiahoonete kindlat definitsiooni ei ole veel Euroopa Liidus paika pandud [6]. Kõigest 10 liikmesriigis on liginullenergiahoone tänaseks defineeritud. Defineerimise teeb raskeks arvestatavate parameetrite nagu energia lõpptarve, primaarenergia, CO₂, valgustuse ja seadmetega arvestamine või mitteametamine jt rohkus [12, 13]. Kasutuses on väga erinevaid mõisteid energiatõhusate

liginullenergiahoonete, nullenergiahoonete, plussenergihoonete kohta, nende ühiseks nimetajaks on, et puudujääv energia saadakse taastuvatest energiaallikatest (päikeseenergia, tuuleenergia) ja imporditava energia suurus on määratud riigiti erinevate regulatsioonidega ning erisuseks riigiti varieeruv energiatõhususarv (20-200 kWh/(m²a)) ja selle arvestuspõhimõtted [12-14].

Eestis on liginulleneriahoone definitsioon olemas ja 2013. aasta energiatõhususe miinimumnõuetega on kehtestatud ka kuluoptimaalsuse põhimõtted (tabel 1.1) ning kuna 2021. aastast on miinimumnõudeks liginullenergiahoone, siis on see selleks hetkeks kuluoptimaalne hoone. Euroopa Liidu liikmesriikides on kuluoptimaalsed lahendused küll Euroopa Liidu direktiiviga kirjeldatud, kuid kuluoptimaalsuse põhimõtet pole liginullenergiahoonete puhul järgitud [12].

Tabel 1.1 Energiatõhususe piirväärtused [15]

Hoone kasutus	Liginullenergiahoone A kWh/(m ² a)	Madalenergiahoone B kWh/(m ² a)	Miinimumnõue C kWh/(m ² a)
Väikeelamu	50	120	160
Korterelamu	100	120	180
Büroohoone, raamatukogu ja teadushoone	100	130	210
Ärihoone	130	160	270
Avalik hoone	120	150	250
Kaubandushoone ja terminal	130	160	280
Haridushoone	90	120	200
Koolieelne lasteasutus	100	140	240
Tervishoiuhoone	270	300	460

Energiatõhususe osaks kujunev taastuvate energiaallikate kasutamine Eesti geograafilise asukoha ning siinsete tingimuste tõttu võimaldaksid toota kogu riigis vajamineva elektri- ja soojusenergia taastuvatest energiaallikatest [10]. Energiamajanduse arengukava seab eesmärgiks taastuva energia osakaalu suurendamist 2030. aastaks 45%-le energia lõpptarbest ning vähemalt 28% primaarenergia sisemisest tarbimisest. Täna on see 25% lõpptarbest ning lähiminekis, 15 aastat tagasi oli taastuva energia osakaal nullilähedane. [8]

1.2 Energiatõhususe probleematika

Inimene viibib enamuse ajast hoones, mistõttu on oluline, et ruumides oleks tagatud hea sisekliima, kus kontrollitakse õhu puhtust, temperatuuri ja niiskust. Energiatõhususest ei saa rääkida kui mõni neist parameetritest on täitmata. Kütmata, energiat mitte tarbiv hoone ei ole energiatõhus hoone.

Tronchin ja Manfren on oma uurimuses hoone energiatõhustamise analüüsis välja toonud, et hoonete majanduslik, keskkonnasäästlik ja sisekliima parameetreid arvestav jätkusuutlikkus sõltub suuresti hoonete elukaare iga etapi - projekteerimine, ehitamine, kasutamine, demonteerimine - optimeerimisest [16]. Käesolev töö puudutab enamasti kasutamisaasta, kuid ka sellele eelnevat projekteerimise faasi.

Hoonete energiatõhususega esmane kokkupuude on projekteerimisaastal. Selle faasi märksõnaks on integreeritud koostöö, või selle puudumine, sest probleemid tulenevad osapoolte suutmatusest arvestada teistega. Projekteerimisaasta eesmärgiks peaks olema energiatõhusus kulutõhusate tehniliste lahenduste ja mõistlike arhitektuursete ehituslahenduste kaudu [17], arvestades seejuures kohalike kliimatiliste tingimustega. Probleemiks on märgitud, et projekteerimise hõlbustamiseks pole veel loodud ühtset üldenergiatarvet ja primaarenergiat arvestavat kasutatavate materjalide kogumit. Variatsioone on liiga palju ning tegelikkuses arvestatakse vaid matemaatiliselte välja arvutatud u-väärtuseid [18].

Ehitamisaastal jälgib tellija eelkõige hinda, mitte primaarenergiat. Heal juhul üritatakse vähemalt elamuehituses saavutada projektis deklareeritud numbreid, halvimal juhul ehitatakse hoone vastavalt võimalustele ning energiatõhusus on vaid näiline. Tallinna Tehnikaülikooli poolt läbiviidud uuringust energiatõhususe miinimumnõuete järgimise kohta selgub samuti, et energiatõhususe arvutuste arvutuskäigud ja -tulemused pole läbipaistvad, mistõttu on energiaarvutuste adekvaatsuse kontroll komplitseeritud [19].

Hoone kasutamisaasta probleematikaks on kirjanduses märgitud inimeste tarbimisharjumusi, tehnoloogia ja taastuvate energiaallikate kasutamist, valmis hoonete hindamise keerukust [9, 20-23].

Energiatõhususarvu (ETA) arvutamisel projekteerimisaastal lähtutakse teatud kriteeriumitest [12-14], tegelikkuses, hoone opereerimisaastal kujunev number sõltub väga

paljudest parameetritest. Näiteks soojusliku mugavuse arvestuses muutuvad energia arvestamis põhimõtted hoone projekteerimisfaasis vajalikeks, kuid umbkaudseteks ning opereerimisfaasis tegelike tulemuste hindamisel ebaoluliseks [20].

Liginullenergiahoone puhul ei ole vajaliku ETA saavutamise võimalik kasutamata taastuvaid energiaallikaid, mis on soodustanud antud valdkonna arengut ja seda vaatamata traditsiooniliste energiaallikate madalatele hindadele viimasel paaril aastal.

Kahjuks maksab taastuvenergeetika valdkonna arengu kinni eratarbija, 2016. aastal kogub Eesti Energia rahvalt 1,15 euro senti taastuvenergia tasu iga tarbitud kWh kohta [11]. Arvestades, et keskmise eratarbija elektritarbimine on 300 kWh kuus, on taastuvenergia tasu 2016. aastal 41,4 eurot.

Peamiseks takistuseks uute tehnoloogiate kasutuselevõtuga on tasuvusaja määramine. Ühest küljest soodustavad määratud toetused uute tehnoloogiate kasutuselevõttu, kaasates arendajaid ja tootjaid ning seega kättesaadavust madalama hinna tõttu, teisalt ei ole selliselt määratud hoonete kuluoptimaalsust võimalik täpselt hinnata. [21]

Mitte ainult liginullenergiahoone definitsioon ei oma kindlat määratlust, ka kasutamisaasi hindamismetoodikas puudub selgus [9]. Liginullenergiahoone toimivuse hindamisel lähtutakse kõigepealt liginullenergia mõistest, ehk hinnatakse saadava ja tarbitava energia balanssi. Kuna paljudes riikides puudub konkreetne juhised kuidas hinnata energiatõhusust liginullenergiahoonel, lisandub hindamisele teatud ebamäärasus [22, 23].

Kui räägitakse energiakasutusest hoone eluiga silmas pidades, siis on kokku lepitud, et hoone kasutusea faasis kasutatakse 70-90 % primaarenergiast. [9, 13]. Kuna ei ole ühtset arusaamist, kas primaarenergiat arvestatakse või mitte [12], ei ole antud uurimistöös sellele tähelepanu pööratud.

Energiatõhususe problemaatika ühe aspektina võib välja tuua Suurbritannia Energiauuringute keskuse raportit, kus märgitakse, et kuigi kuluefektiivsuse tõus energiatõhususes peaks tooma majandusele kasu, siis osalt võib see efekt olla kahjulik võitluses kliima muutustega. Inimeste säästetud vahendid küttekuludelt suunatakse mitte nii mõistlikesse kulutustesse - suurema ökoloogilise jalajäljega kulutustesse nagu reisimine lennukiga, elamistingimuste parandamine juurdeehituse näol (taas suurem primaarenergia). [24]

Liginullenergiahoonete kohustuslik ehitamine viie aasta pärast tundub valdkonna võidujooksuna. Kas hoonete energiatõhusus ka realselt kuluefektiivne on, seda näitab aeg.

1.3 Energiatõhususe põhielementide aktuaalsus

Energiatõhusus on olnud aktuaalne teema juba pikemat aega, sest see puudutab inimest isiklikul tasandil majanduslikust küljest, riiki energeetilise julgeoleku kaudu ning kogu maailma keskkonnaaspektist lähtuvalt. Kuna hoonetele kuluv energiatarbe osakaal on suur, siis on ka hoonete energiatõhususe sektorisse imbunud tehnoloogia areng. Täna on hoonete energiatõhususe põhielementideks tehnosüsteemide monitooring andmete kogumise ja analüüsi kaudu ning taastuvate energiaallikate kasutamine. Tulevikus on tehnosüsteemide optimeerimine automatiseeritud [25] ja taastuvate energiaallikate kasutamine normiks.

Andmestik on tänapäeval uus must kuld. Inimene ei tee enam midagi ilma, et tal valdkonnapõhist andmestiku analüüsi poleks tehtud. Tegu on kiiresti areneva tööstusega andmete kogumises, nende töötlemises automatiseeritult [26] ning kogu taastuvenergeetika valdkonnas. Mõlema sfääri majanduskasvu prognoosid on muljetavaldavad.

Hoonete monitoorimise valdkonna prognoositav kasv nt Ameerika Ühendriikides on praeguselt 775 miljonilt dollarilt aastas 1,6 miljardini aastaks 2020 [27], mis peaks turgutama majandust, kiirendama innovatiivsete tehnoloogiliste lahenduste levikut ning looma uusi töökohti energiatõhususega seotud sektoris [27].

Taastuva energia tehnoloogia turg kasvab Rahvusvahelise energiaagentuuri prognoosi kohaselt samuti väga kiiresti, haarates aastaks 2040 60% kogu energiainvesteeringutest 40 triljoni dollari ulatuses ning valdkonda juhivad hooneehituse ja transpordi sektorid [28].

1.4 Monitooringu põhimõtted

Energiatõhususe aspekte on võimalik uurida kahes põhivaldkonnas [16]:

- 1) hoone projekteerimisfaasis, kus on väga palju ebamäärasust, keerukad arvutused ja primaarenergia “tinglikud” arvestamised. Tulemusi mõjutavad lõpuks ka ehitusvead;
- 2) hoone opereerimisfaasis, kus monitooringu tulemusel tehtud korrektiivide kaudu on energiasääst võimalik. Sellele valdkonnale keskendutakse käesolevas töös.

Energiatõhusate hoonete analüüsiks kasutatavate meetodite põhimõtet on kirjeldatud mitmetes teadusartiklites ja magistritöödes. Kasutatud on olemasolevate hoonete mõõtmistulemusi [29], mõõtmisvõimaluste puudumisel hoone simulatsioone [20] või nende kahe kombinatsioone [30]. Tulemusi on töödeldud erinevate tarkvarade abil: Matlab, Octave, simulatsiooni EnergyPlus versioone [18, 20, 31]; IDA Indoor Climate and Energy [32]; taanlaste poolt välja töötatud matemaatilise mudeli “Continuous Time Stochastic Modelling” kasutamist [23]; Building Information Modeling (BIM) hoonete projekteerimisfaasis [16], TRNSYS [9, 23]; Capital jpt. Hoonete analüüsimisel opereerimisfaasis on kasutatud optimeerimisalgoritmiga simulatsiooniprogramme GenOpt ja TRNOPT [9].

Kõik uuringute põhimõtted jälgivad seost: objekt-meetod-trend [9].

Analüüsi problemaatika kirjeldamisel on nimetatud erinevate arvestuspõhimõtete valikuvõimalust ja laialivalgust:

- modelleerimisel arvestatavad erinevad parameetrid [20];
- erinevad andmete valik ja nende töötlus [26];
- primaarenergia, CO₂ vms kasutus ja suhtelisus energiatõhususe arvestamisel [9].

Kuni 15 % energiatarbest on raiskamine [14], kuna hoonete monitoorimist pole tehtud ning ei teata, millele kulutatakse tarbetult. Simulatsioonipõhine hoonete energiakulutuste optimeerimine on järgnevate hoonesüsteemide põlvkondade võtmeküsimuseks [25].

Energiatõhusate hoonete haldamise ja monitooringu põhimõtteid on klassifitseeritud kolme suuremasse rühma: põhitase, kesktase ja edasijõudnute tase. Põhitase tagab minimaalsed

nõuded hoone haldamiseks: kasutades sensoreid, on võimalik seadmete tööd jälgida ning edastada need kolmandatele osapooltele. Kesktase võimaldab lisaks muuta tarbimist etteantud ülesande põhjal. Edasijõudnute tase võimaldab kontrollida ja juhtida seadmete tööd keerulisemal tasemel, arvestades samaaegselt mitme erineva parameetriga. [33]

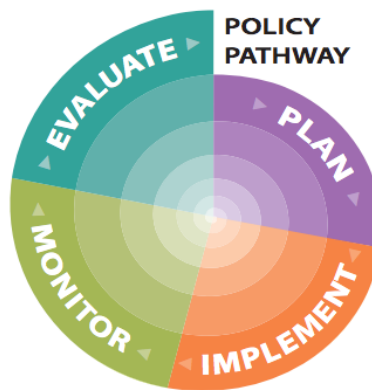
Selleks, et hooneid oleks võimalik monitoorida on esimese sammuna ette võetud EL soovituslikku laadi regulatsioon, mis soovitab vähemalt 80 % tarbijaist aastaks 2020 varustada arukate arvestisüsteemidega toetudes tehnilisele võimalikkusele, majanduslikule mõistlikkusele ning potentsiaalse energiasäästu proportsionaalsusele. Lõpptarbija ligipääs oma individuaalset tarbimist käsitlevale teabele ja arvetele peaks toetama energiateenuste turgude arendamist ja nõudluse juhtimist ehk tarbija ise optimeerib oma kulutusi teabe põhjal või teeb seda tema eest automaatika. [27] Selline monitooring võimaldab oma kulutusi suunata ka olemasolevate hoonete puhul, sest arukad arvestisüsteemid on olemasolevate võrkude põhised. Eestis vahetatakse kõik olemasolevad elektriarvestid tunnipõhiste kauglugemisarvestite vastu 2016. aasta lõpuks [34].

Hoonete monitoorimisega tekkivad andmed võivad olla omaniku jaoks oluliseks privaatsuse küsimuseks. Euroopa Liidu regulatsiooniga on andmete kaitsmine sätestatud juba 1995. aastal koostatud direktiiviga. Direktiivis on kirjeldatud, et andmetöötlemise eest vastutav töötleja peab rakendama vajalikke tehnilisi ja organisatsioonilisi meetmeid kaitsmaks andmete edastamist võrgus. Võttes arvesse tehnika taset ja selliste meetmete elluviimise kulusid, peavad kõnealused meetmed tagama töötlemise ja kaitstavate andmete laadiga kaasnevale ohule vastava turvalisuse taseme. [35]

Monitooringu kesk- ja edasijõudnute taseme optimeerimisviisiks võiks olla hooneautomaatika, mis olukorra muutudes (inimeste varieeruv arv), reguleerib sisekliima parameetreid, säästes sellega energiat või jälgib see börsihinda ning tarbimine toimub selle miinimumväärtuse juures [6].

Kõige tähtsamaks monitooringu puhul on tagasiside. Paigaldatud seadmetest endist ei piisa energiatõhususe saavutamisel. St inimene peaks saama reaajas kuvatud info põhjal oma käitumist muuta, igakuiselt saadetud arved tarbitud kWh arvudega seda ei võimalda. Kodus ekraanidele kuvatud info jälgimine võimaldab teha eelistusi johtuvalt hetke börsihinnast või ilmastikunähtustest. Saavutatud sääst uuringute põhjal oleks reaajas korrigeeritud käitumise põhjal 12 % [36].

Rahvusvahelise energiaagentuuri poolt välja töötatud hoonete energiatõhususe strateegiline ring joonisel 1.2 jälgib lihtsat põhimõtet: plaan-teostus-monitooring-hindamine [37], mille viimased kaks etappi ja nende tulemuste hindamise põhjal optimeerimisvõimaluste leidmine on käesoleva uuringu põhieesmärged.

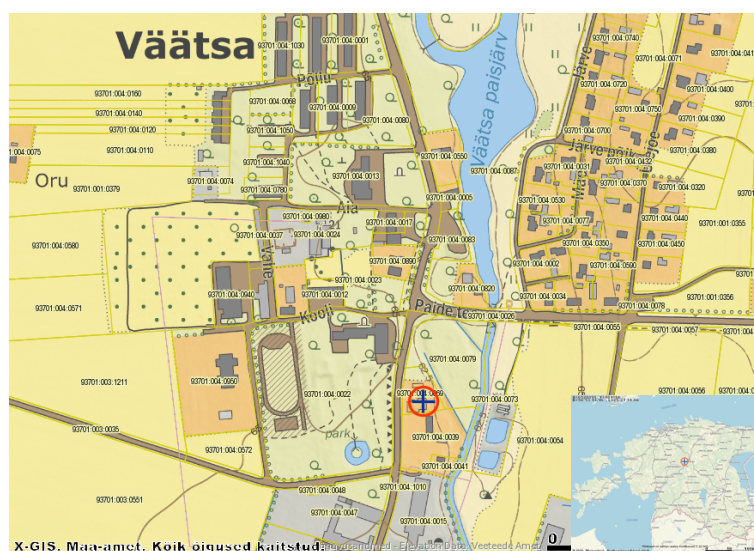


Joonis 1.2 Hoonete energiatõhususe strateegiline ring: plaan-teostus-monitooring-hindamine [37]

2. UURITAVA HOONE ISELOOMUSTUS

2.1 Lühikirjeldus

Analüüsitav hoone on eakatele suunatud 38-kohaline hooldekodu, mis asub Väätsa alevikus, Järvemaal (vt asukohaskeemi joonisel 2.1). Hoone valmis Eesti-Šveitsi koostöös 5. juunil 2015 ning seda haldab ja monitoorib Väätsa Vallavalitsus.



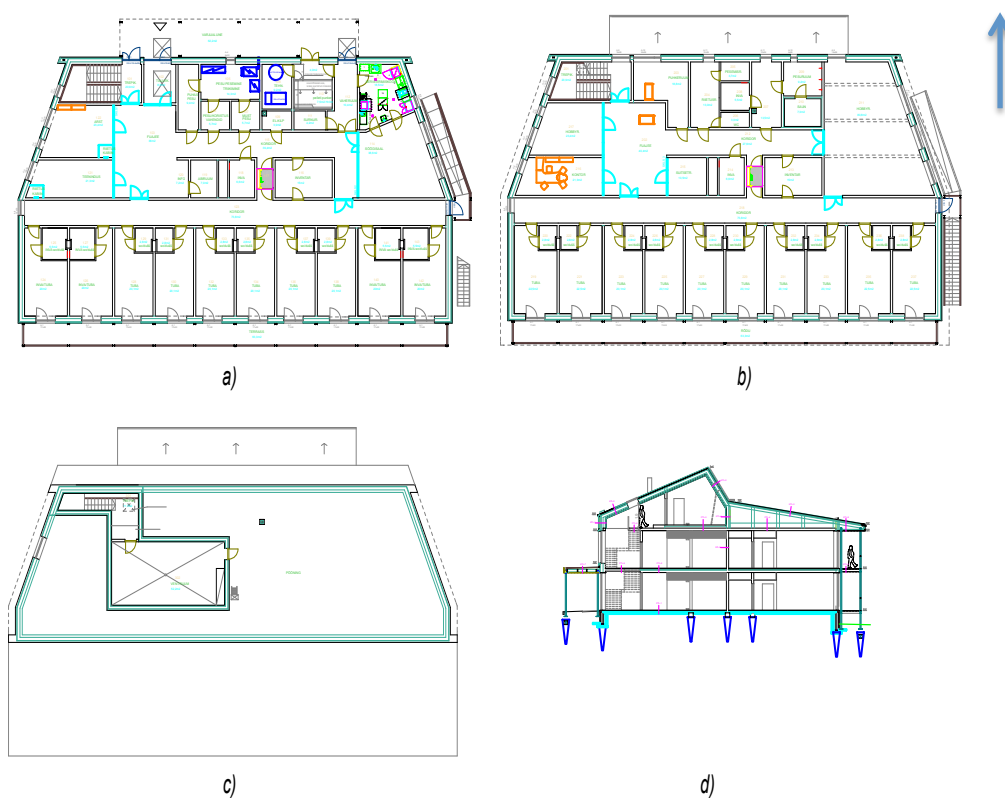
Joonis 2.1 Uuritud hoone asukohaskeem [38]

Eakate kodu välisilme kujundamisel on arvestatud mõisapargi miljööga, viilkatusega hoone jälgib katuse kujuga mõisapargi teisi hooneid, kuid muutuvate kalletega viilkatus ja hoone sisearhitektuur on kaasaegne, modernistlik lähenemine. Piirdetarindite kavandamisel on lähtutud eelkõige energiatõhususest, mistõttu on hoone projekteeritud kompaktses kahekorruselises monoliitbetoonist ristikülilikuna (joonis 2.2). Hoone kehend on ida-lääne suunas välja venitatud võimalikult pika lõuna poole avatud osaga ning põhjakülge on kujundatud minimaalsete mõõtude ja avadega (joonis 2.3). Eakate eluruumid on projekteeritud suunaga lõunasse, igal ruumil on pääs rõdule, mis kaitseb ruume suvise ülekuumenemise eest. Ühiskondlikud ruumid nagu söögisaal, kogunemisruumid, teenindus on paigutatud vastavalt itta ja läände kuhu on veel mõistlik avasid paigutada. Põhja poole jääb krundi paigutusest tulenevalt sissepääs ning abiruumid. Hoone keskossa jäävad

ruumid, mis ei vaja loodusliku valgust: inventariruum, ventruum, kommunikatsioonišahtid (joonis 2.3). [39]



Joonis 2.2 Väätša eakate kodu. Vaated loodest ja edelast *Allikas:* puuinfo.ee, blogid.sotsdem.ee



Joonis 2.3 Hoone plaanid: a) esimese korruse plaan; b) teise korruse plaan; c) ventilatsiooniruum katusekorrusel; d) hoone ristilõige. Noolega on tähistatud põhjasuund

Hoone on klassifitseeritud madalenergiahooneks, väljastatud on energiatõhususmärk (Lisa 1) arvutusliku energiatõhususarvuga 106 kWh/(m²a) (klass B), mis jääb liginullenergiahoone (klass A) piirile energiatõhususarvuga kuni 100 kWh/(m²a).

2.2 Üldandmed

Tellija	Väätsa Vallavalitsus
Kinnistu	Türi tee 1, Väätsa, Järvamaa
Arhitektuurne osa	U-Disain OÜ, Pühajärve tee 1, Otepää
Konstruktiiivne osa	Bueno OÜ, Põltsamaa, Jõgevamaa
Ventilatsioon, küte, vesi-kanal	Projektide Agentuur OÜ, Laki 14a, Tallinn
Küttesõlme projekteerimine	Viva Insenerid OÜ, Riia 181a, Tartu
Nõrkvool ja automaatika	OÜ Teleprojekt, Võru tn 254-4, Tartu

2.3 Tehnilised näitajad

Sihtotstarve	Üldhooldekodu
Krundi pind	2628 m ²
Hoonealune pind	827,1 m ²
Korruselisus	2
Suletud netopind	1327,5 m ²
Hoone kubatuur	6797 m ³
Hoone gabariidid	20 x 36,9 m, kõrgus 11,7 m
Hoone eluiga	Ehitise kavandatav kestvus on 50-a [39]

2.4 Piirdetarindid

Hoone vundamendiks on saviliivmoreenile toetuv kiilvaivundament, mille peal olevale rostvärgile toetuvad esimese ja teise korruse kivi- ja betoonseinad. Pinnasel asuv põrand on toetatud tihendatud jämeliivast aluskihile. Vahelaed on monoliitbetoonist, katusekonstruktsioon puidust. Avatäited on alumiiniumprofiilidel kolmekordse

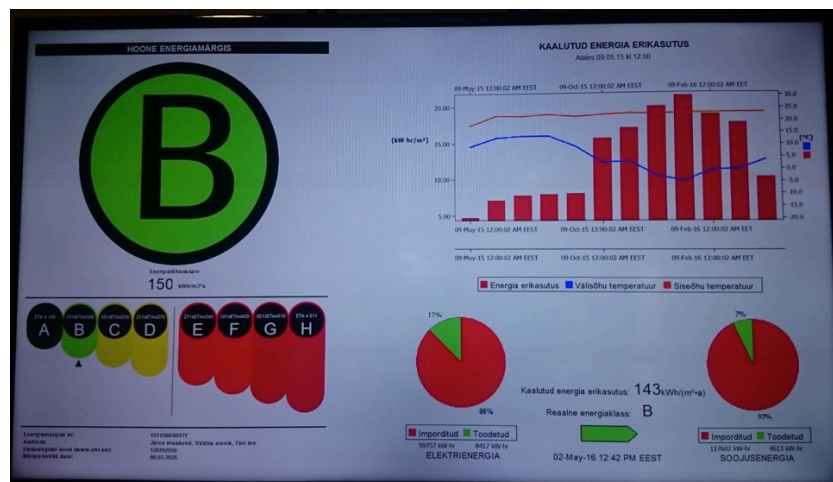
klaaspaketiga. [40] Piirdekonstruktsioonides kasutatavad materjalide ja omaduste ülevaade on toodud tabelis 2.1.

Tabel 2.1. Piirdekonstruktsioonide ülevaade [39,40]

Nimetus	Materjal	Paksus [mm]	U-väärtus [W/m ² K]
Välisseinad	Monoliitbetoon, armeeritud Mineraalvill puitkarkassi vahel Tuuletõkkeplaat	200 250 30	0,12
Põrand pinnasel	Betoon, armeeritud Vahtpolüstüreen EPS 100	120 200	0,17
Lame katuseosa	Betoonplaat puistevill	200 400	0,12
Kaldkatvus	Betoonplaat Koormustaluv mineraalvill	100 150	0,12
Avatäited	Alumiiniumprofiilidel kolmekordse klaaspaketiga	6kar-15-3-15- 3sel	0,8

2.5 Tehnosüsteemide kirjeldus

Hoone on varustatud automaatikaga, mis võimaldab hoone tehnosüsteemide jälgitavust hoone fuajees asuva teleri ekraanil (joonis 2.4) ja reaalajas veebis (joonis 2.5). Tehnosüsteemide automaatset juhtimist ei toimu. Rakendatud on monitoorimise põhitase (vt p.1.4).



Joonis 2.4 Tehnosüsteemide jälgimine hoone fuajees. *Pilt:* Heigo Laaneoks

Väätsa eakatekodu		Energiamärgis	Raport	Arvestid	Trendid	Häired	Kasutusjuhend
		Hoone CO2 465 ppm		Hoone sisetemp. 23,6 °C		Vällistemp. 8,7 °C	
STV ARV. A1	61510659	VENT.KÜTTE ARV. A2	61510660	KÜTTE ARV. A3	61510661	ELARVESTI PI	ÜLDELEKTER
Energia	17088 kW-hr	Energia	53863 kW-hr	Energia	33307 kW-hr	Energia	14991 kW-hr
Võimsus	12,2 kW	Võimsus	12,2 kW	Võimsus	1,2 kW	Võimsus	2,2 kW
Pealevool	60,31 °C	Pealevool	77,59 °C	Pealevool	32,00 °C	Energia T1	7771 kW-hr
Tagasivool	51,12 °C	Tagasivool	52,60 °C	Tagasivool	31,16 °C	Energia T2	6765 kW-hr
Läbivool	0,000 m³/hr	Läbivool	0,150 m³/hr	Läbivool	1,041 m³/hr	ELARVESTI PI2 VENTILATSIOON	
Voolukogus	5385,90 m³	Voolukogus	1386,97 m³	Voolukogus	18436,19 m³	Energia	376 kW-hr
KÜTTE ARV. A4	61510662	KÜTTE ARV. A5	61510663	PÄIKESEKÜTE. A6	61432108	Võimsus	0,0 kW
Energia	6020 kW-hr	Energia	33660 kW-hr	Energia	4538 kW-hr	Energia T1	208 kW-hr
Võimsus	0,0 kW	Võimsus	1,5 kW	Võimsus	0,0 kW	Energia T2	163 kW-hr
Pealevool	31,98 °C	Pealevool	31,98 °C	Pealevool	34,89 °C	ELARVESTI PI3 PÄIKESEENERGIA	
Tagasivool	31,84 °C	Tagasivool	31,62 °C	Tagasivool	34,92 °C	Neg.energia	10324 kW-hr
Läbivool	0,049 m³/hr	Läbivool	1,081 m³/hr	Läbivool	0,000 m³/hr	Neg.max.võim	9,4 kW
Voolukogus	4747,00 m³	Voolukogus	20816,90 m³	Voolukogus	1391,93 m³	Pos.en. T1	6 kW-hr
ELARV. P1	PEAARVESTI	ELARV. P2	ÜLDRUUMIDE VALGUS	ELARV. P3	TUBADE VALGUS	Pos.en. T2	8 kW-hr
Energia	75619 kW-hr	Energia	12508 kW-hr	Energia	3538 kW-hr	ELARV. P4	ÜLDELEKTER I
Energia T1	36481 kW-hr	Energia T1	7924 kW-hr	Energia T1	1746 kW-hr	Energia	11503 kW-hr
Energia T2	39138 kW-hr	Energia T2	4584 kW-hr	Energia T2	1792 kW-hr	Energia T1	3850 kW-hr
ELARV. P5	KÖÖK	ELARV. P6	ÜLDELEKTER II	ELARV. P7	TUBADE ELEKTER	Energia T2	7653 kW-hr
Energia	7246 kW-hr	Energia	812 kW-hr	Energia	2194 kW-hr	ELARV. P8	VÄLISVALGUS
Energia T1	4492 kW-hr	Energia T1	456 kW-hr	Energia T1	1084 kW-hr	Energia	753 kW-hr
Energia T2	2754 kW-hr	Energia T2	356 kW-hr	Energia T2	1110 kW-hr	Energia T1	212 kW-hr
						Energia T2	541 kW-hr

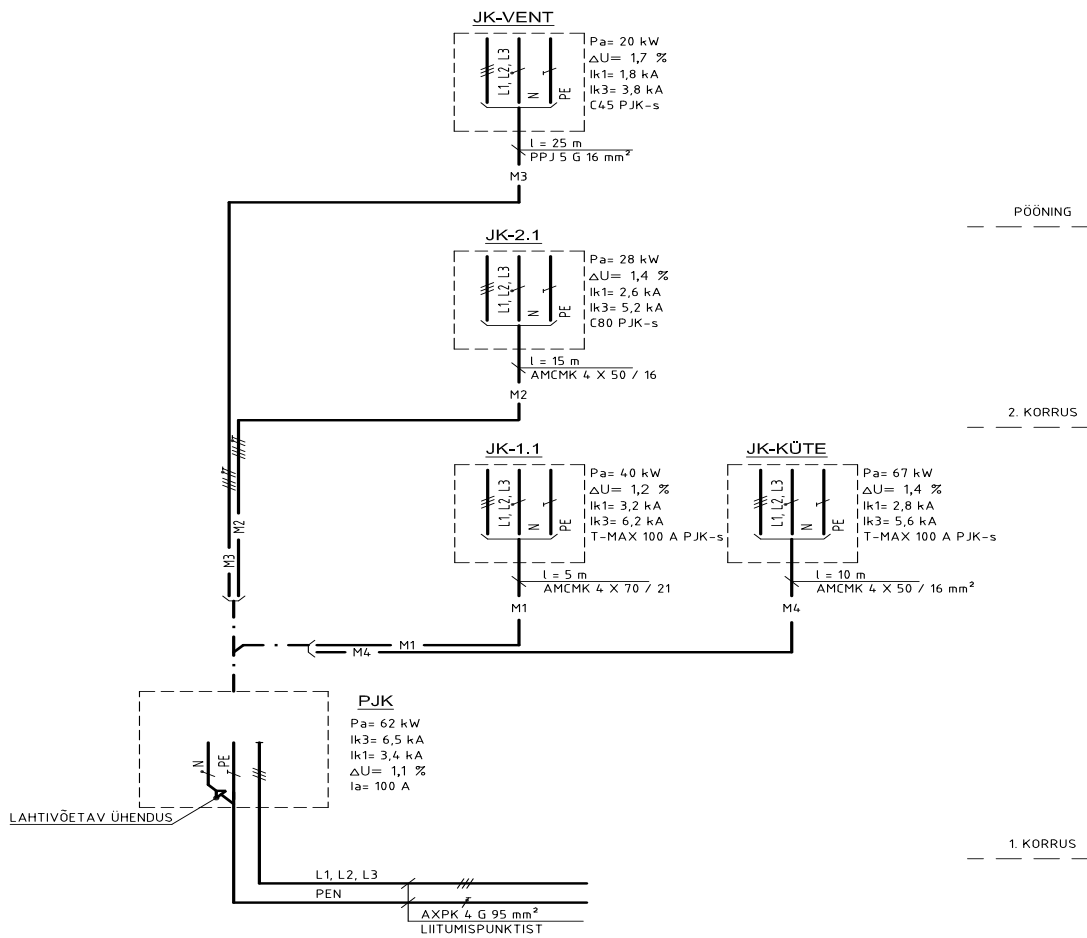
Joonis 2.5 Tehnosüsteemide jälgimine veebis. Pildil energiatarbe kajastus seisuga 28.04.2016

2.5.1 Elekter

Hoone varustamine elektrienergiaga toimub Elektrilevi OÜ olemasolevast liitumispunktist. Hoone elektritehnilised näitajad [41]:

toide	peakaitse
pingesüsteem	3 x 100 A
juhistikusüsteem hoones	3 x 230/400 V, 50 Hz
installeeritud võimsus	TN-S
arvestuslik võimsus	135 kW
arvestuslik vool	62 kW
olemasolevast liitumispunktist	100 A

Hoone elektrivõrgu skeem on toodud joonisel 2.6.



Joonis 2.6 Elektrivõrgu skeem [41]

Elektrivarustuse süsteemi (joonis 2.6) peakilpi PJK on ühendatud kilbid: JK-KÜTE, JK-1.1, JK-2.1 ja JK-VENT. Kilpi JK-KÜTE on ühendatud pelletikatel, päikesekütte- ja kütteautomaatika, tarbevee mahuboiler ning tsirkulatsioonipumbad. Kilpi JK-1.1 on ühendatud: esimese korruse tubade, koridori valgustus ja õuevalgustus; pistikupesad; pesuruumi ja köögi seadmed; esimese korruse põrandakütte kollektorid; tulekahjusignalisatsioon ja suitsuluugi juhtimine. Kilpi JK-2.1 on ühendatud: teise korruse tubade, koridori valgustus ja pistikupesad; saunakeris; teise korruse põrandakütte kollektorid; vihmaveesüsteemi küttegaablid. Kilpi JK-Vent on ühendatud kõik ventilatsiooniseadmed, automatikakeskus ja päikesepaneelide inverteri ühendus.

Päikesenergiaast elektrienergia tootmise seade on ühendatud kilpi JK-VENT. Seade koosneb katusele kinnitatud Winaico WST-250P6 fotoelektrilistest päikesepaneelidest pindalaga 80 m², Delta Solivia 11 TR inverterist ja kaitseaparatuurist. Seadme väljundvõimsus on 10,5 kW. Päikesenergiaast sooja tarbevee jaoks paigaldatud

vaakuumkollektorid on ühendatud kilpi JK-KÜTE. [39] Päikesepaneelide asetus hoone katusel on toodud joonisel 2.7.

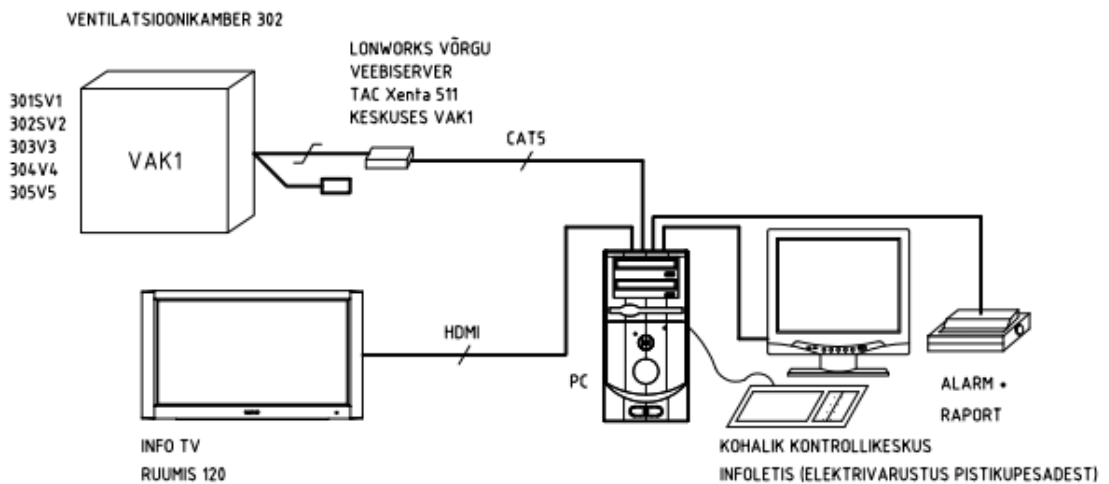


Joonis 2.7 Päikesepaneelid katusel. Vaade lõunast (ülemine pilt), vaade läänest (alumine pilt) *Allikas:* smartecon.ee

Hoonesiseseks üldvalgustuseks on kasutatud ökonoomseid madalrõhu luminofoorlampidega valgusteid, olmeruumide ja koridori osas ka kompaktlampidega valgusteid. Tubade sissepääsude lähedale on paigaldatud 400 mm kõrgusele seina süvistatult LED valgusallikaga valgustid öövalgustuse tarbeks. Hoone sissepääsudele on paigaldatud kompaktluminofoorlampidega valgusteid. [41]

2.5.2 Automaatika

Automaatika põhimõtteline skeem on toodud joonisel 2.8 ja eripunktid (Lisas 2). Automaatikasüsteemi alakeskus VAK-1 – paikneb kolmanda korruse ventilatsioonikambris ja juhib ventilatsiooniagregaatide SV1, SV2, väljatõmbeventilaatoreid V3, V4 ja V5. Alakeskuse ühendamisel järelvalvekeskusega on kasutuses LonTalk protokollisüsteem.



Joonis 2.8 Hooneautomaatika struktuuriskeem [42]

Hooneautomaatikaga on ühendatud:

- soojavarustus;
- ventilatsioon;
- veevarustus;
- elektrivarustus;
- valgustus;
- tuletõrjevalve.

Ruumid on varustatud siseukse kõrvale 1,5 m kõrgusele põrandapinnast paigaldatud temperatuurianduritega nii, et neile ei lange otsesest päikesevalgust. Õhu suhtelise niiskuse mõõtmise andur on paigaldatud ventilatsioonikanalisse, kanali pinnakattes on ligipääsuluuk andurile. Välisandurid on paigaldatud hoone põhjaseinale.

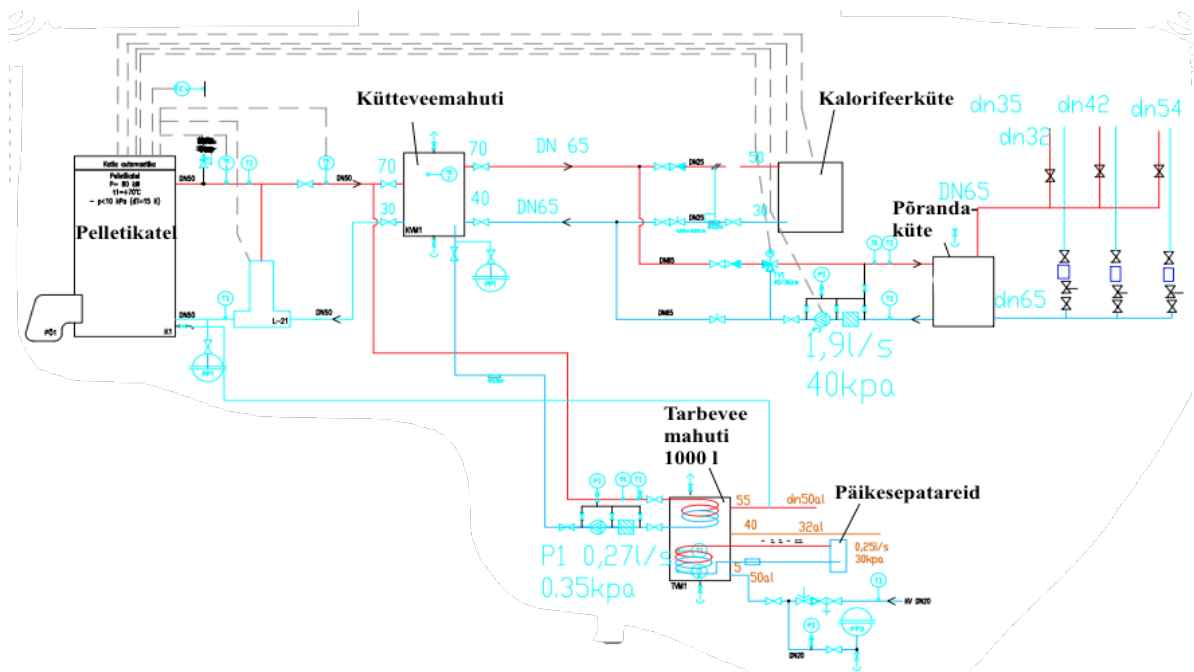
Koridoride valgustuse juhtimine on liikumisandurite abil, ülejäänud ruumides toimub valgustuse juhtimine kohapealsete lülitite abil. Välisvalgustuse juhtimine on ühendatud hoone automaatikasüsteemi. Hoones on toimiv turvavalgustussüsteem, mis koosneb evakuatsioonivalgustusest, paanikavältimise valgustusest ja riskialavalgustusest [42].

2.5.3 Küte

Hoones on põrandaküttesüsteem, soojuskandjaks on vesi ning soojusallikaks >92% kasuteguriga pelletiküttekatel, lisaks pelletiküttele on päikeseküte vaakuumkollektoritega ning ventilatsiooniküte vesikütte kalorifeeriga. Reservina on kasutusel ka elektriküte (küttekeha küttevemahutis ja soojaveeboileris). Elektriküttel on sauna leiliruumi elektrikeris võimsusega 15 kW ning vihmavee äravoolu küttekaablid, mis on varustatud jää ja lume olemasolust signaliseerivate anduritega. Arvutuslikud soojuskoormused on põrandaküttel 34,2 kW, ventilatsiooniküttel 15,7 kW ning soojuskandja parameetrid vastavalt 38°/33°C ja 55°/30°C, tahkeküttekatla soojuskoormuseks on 80 kW. [43]

Ruumide temperatuuri reguleerimine toimub ruumi- ja põrandatemperatuuriandurite abil. Põrandakütte soojuskandja temperatuuri reguleerimine toimub sojussõlmes automaatselt sõltuvalt välisõhutemperatuurist. Ventilatsioonikütte soojuskandja temperatuuri reguleerimine toimub sojussõlmes automaatselt sõltuvalt välisõhutemperatuurist ning kalorifeerisegamissõlmes vastavalt õhu sissepuhketemperatuurile. [43]

Küttesüsteemi skeem on toodud joonisel 2.9 ja (Lisa 3). Süsteemi automaatikat on võimalik juhtida, reguleerida ja kontrollida katlaruumis asuva seinapealse juhtimispludiga.



Joonis 2.9 Küttesüsteemi skeem

2.5.4 Soe tarbevesi

Hoone veevarustus on tagatud Türi-Väätsa tee ühisveetorustikust. Sooja tarbevee valmistamiseks kasutatakse 1000 l mahtboilerit. Soojuskandja parameetrid sekundaarpoolel on 5°/55°C. Vee kütmiseks kasutatakse päikesekütet (vaakuumkollektoreid) >60% ulatuses, teise eelistusena pelletikütet ning kolmanda võimalusena 9 kW elektri küttekeha. Kõik soojasõlme seadmed on varustatud LON liidestega hooneautomaatikaga ühendamiseks. [44]

2.5.5 Ventilatsioon

Ventilatsiooniseadmed asuvad tehnilises ruumis hoone 3. korrusel (joonis 2.3 c)). Kasutuses on soojustagastusega ventilatsiooniseadmed SV1 ja SV2 ning väljatõmbeventilaatorid V3 (suitsuruumi ventilaator), V4 (kuivati ventilaator), V5 (alakeskuse ventilaator). Seadmete täpsem ülevaade tabelis 2.2.

Tabel 2.2 Ventilatsiooniseadmete tabel [45]

Ventilatsiooni-süsteem	Seade	Õhu-hulk	Soojusvaheti		Kütte-kalorifeer		Elektri-mootor
			Tüüp	Temp. (t _{sis} /t _{välja})	Q	Temp. (t _{sis} /t _{välja})	
Tähis		m ³ /s		°C	kW	°C	W
SV1	sissepuhe	0,51	vastuvoolu-plaat	-26,5/ +16	3,6 (50/29)	+16/ +21	763
	väljatõmme	0,53		vesi			
SV2	sissepuhe	1,03	vastuvoolu-plaat	-26,5/ +12	10,8 (50/37)	+12/ +21	1894
	väljatõmme	0,82		vesi			
V4	kanalivent.	0,15	-	-	9	elekter	156
V3	katusevent.	0,2	-	-	-	-	166
V5	kanalivent.	0,13	-	-	-	-	156

SV1 - ventilatsiooniseade on projekteeritud eluruumide ventileerimiseks. Seadme arvestuslik tööaeg 24 tundi ööpäevas 7 päeva nädalas. SV2 - ventilatsiooniseade on projekteeritud üldkasutatavate ruumide ventileerimiseks. Seadme arvestuslik tööaeg 16 tundi ööpäevas 7 päeva nädalas. Ventilatsioonisüsteemide sissepuhe ja väljatõmme toimub õhujaoauritega ruumide lagede alt ja seintelt. Alarõhulistes ruumides on värskeõhu juurdepääs tagatud siirdeõhurestide kaudu.

Välisõhu arvutuslikud parameetrid:

Talvine välisõhu temperatuur $-26.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

sissepuhutava õhu temperatuur $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$

väljatõmmatava õhu temperatuur $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$. [45]

3. ANALÜÜS

3.1 Analüüsi eesmärk

Käesoleva töö uurimise osa eesmärgiks on energiatarbe bilansis osalevate energiatõhusust mõjutavate parameetrite käitumise uurimine ühe aasta lõikes kogutud andmete töötlemise kaudu, tulemuste hindamine ja analüüs empiirilise uurimise kaudu ning saadud tulemuste põhjal optimeerimislahenduste pakkumine.

Uurimistööga otsiti vastust küsimustele:

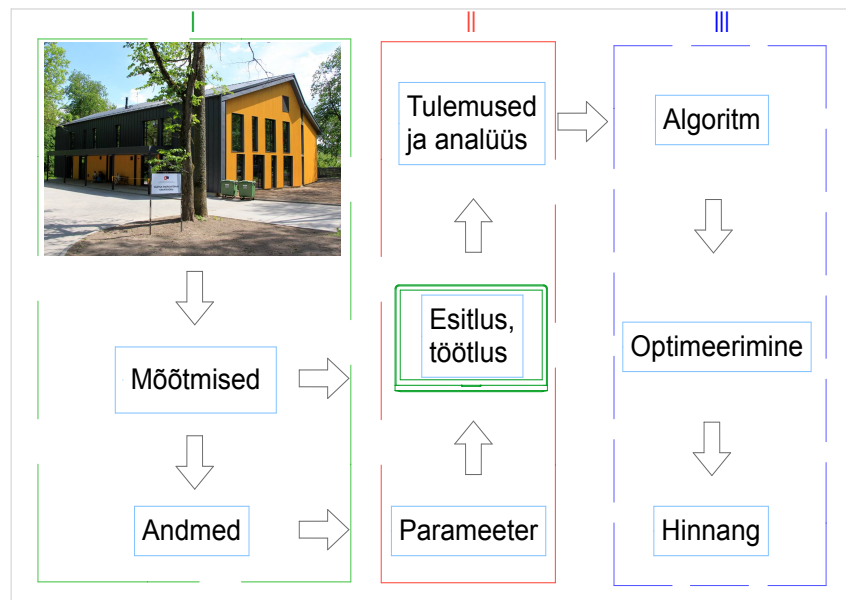
- kas monitooringu andmeanalüüsi kaudu on võimalik kindlaks määrata kuidas opereeriva hoone süsteem tervikuna (soojusenergia ja elektrienergia kasutus) töötab;
- kas või kuidas võimaldab hoonesse paigaldatud seadmete monitooring optimeerida hoone energiakasutust;
- kuidas olemasolevaid lahendusi kasutatakse kulude optimeerimiseks.

Probleemi lahendamiseks püstitati hüpotees: Hoonete monitooringul on oluline koht energiakasutuse kitsaskohtade leidmisel.

Energiatarbe ja säästmise suhet uuriti energiat tarbivate üksikute komponentide efektiivse kasutamise (energiatõhususe suurendamine) ja võimalike anomaaliate tuvastuse kaudu.

3.2 Kasutatud meetod

Uurimistöös püstitatud eesmärkide saavutamiseks koostati põhimõtteline uurimistöö etappe kirjeldav skeem (joonis 3.1). Uurimistöö struktuuri esimese etapina kirjeldatud mõõtmiste osa eeldab seda, et hoone on varustatud mõõtmisseadmetega ja seadmete poolt kogutud info esitlus on nähtav serveris. Esimese etapi osa tehniline pool on hoone haldaja poolt tagatud. Etapi uurimistöö sisuliseks pooleks on serverisse koondatud sensorite ja mõõteseadmete andmestik transportida csv formaadis Microsoft Excelisse ja maatrikstehete jaoks GNU Octave keskkonda. Teises etapis toimub uurimise analüüsi osa, kus andmete töötlemisel arvutis analüüsitakse mõõtmistulemusi, hinnatakse energiatõhususes osalevaid olulisi parameetreid ja nende omavahelist seost, koostatakse graafikuid, tehakse järeldused ja jõutakse tulemuseni. Uurimise kolmandas etapis otsustatakse, millised parameetrid on probleemipüstituse seisukohalt energiakasutuse optimeerimiseks olulised, valitakse andmetöötlemise algoritm, kontrollitakse mudeli õigsust, leitakse optimeerimislahendus ja hinnatakse selle võimalikkust. Kolmandat etappi kirjeldav põhjalikum skeem on toodud peatükis 3.7.



Joonis 3.1 Uurimistöö struktuur

3.3 Andmestik

Uuring põhineb kogutud andmete töötlemisel.

Andmeid koguti perioodil 1.05.2015-30.04.2016. Osa sellest perioodist hõlmas hoone opereerimise käivitamisfaasi, kus kliente hoones veel ei olnud (1.05.2015-15.06.2015).

Uurimistöös on kasutatud hoonesse paigaldatud logerite andmeid, mis on kuvatud monitooringu haldamisega tegeleva ettevõtte poolt serveris. Ligipääs andmetele on kaitstud kolmandate isikute poolt parooliga. Parooli olemasolu ei taga lihtsat andmetega opereerimist, see on komplitseeritud lehekülje kuvamise sätetega, mis võimaldab andmete transporti vaid Microsoft Internet Exploreri olemasolul ja nõuab sagedat Java uuendust.

Andmete registreerimise väiksemaks sammupikkuseks on 1 tund, kogu registripikkuseks on defineeritud 500 kirjet, mis 24 tunni näitude puhul on 500 päeva ja 1 tunni näitude puhul 500 tundi. Vanemad kirjed kirjutatakse üle. Selline andmete kogumine võimaldab analüüsi vaid päevapõhiste keskväärtuste põhjal. 500 kirjet tunnipõhiseid andmeid on liiga väike valim tegemaks kogu aasta kokkuvõtet, nende põhjal saab teha viimase 20,8 päeva analüüsi. Jääb arusaamatuks, millist eesmärki täidab andmete üle kirjutamine, sest andmemaht ei ole suur. Tagasihoidliku arvutuse põhjal 20 anduri tunnipõhiste näitude kogu aasta maht oleks 4,1 Mb.

Andmed on jagatud 20 rühma, sh on mõõdetud sisse- ja välistemperatuurid ja CO₂:

TE30 - sisetemperatuur	A5 - põrandaküte III	P6 - üldelekter II korrusel
TE00 - välistemperatuur	A6 - päikeseküte	P7 - tubade elekter
CE30 - CO ₂	P1 - peaarvesti	P8 - välisvalgustus
A1 - soe tarbevesi	P2 - üldruumide valgustus	PI - ventilatsiooniseade SV1
A2 - ventilatsiooniküte	P3 - tubade valgustus	PI2- ventilatsiooniseade SV2
A3 - põrandaküte I	P4 - üldelekter I korrusel	PI3 - üldelekter päike
A4 - põrandaküte II	P5 - köök	

Olemasoleva süsteemi puudusena serveri leheküljel kuvatud kokkuvõtetes on andmestiku tähistate lahtikirjutamata jätmise. Kaksikümne andmerida ei jää meelde, nende tähendust tuleb kusagilt otsida. Andmete esitluse graafikuid ei ole võimalik pikema perioodi kohta saada ning lugemite nulli kukkumised rikuivad graafilise pildi ära, see pole loetav.

3.4 Seadmed ja tarkvara

Andmete analüüsiks kasutati Microsoft Exceli tabelarvutusi ning vabatarkvarana GNU Octave.

GNU Octave on kõrgetasemeline programmeerimiskeele tarkvara, mis on mõeldud peamiselt numbriliste kalkulatsioonide jaoks. See võimaldab leida lineaarsetele ja mittelineaarsetele probleemidele numbrilist lahendust ja ka teiste numbriliste eksperimentide teostust [46].

3.5 Energiatõhusust mõjuatavad parameetrid

3.5.1 Inimesed

Hoonet igapäevaselt kasutatavate inimeste arv on toodud allolevas tabelis 4.1. Hoone on aasta jooksul olnud hõivatud keskmiselt 25,4 inimese poolt. Klientide arv on kasvanud 2015. aasta juuni seitsmelt inimeselt kuni 2016. aasta aprilli lõpuks 34 inimeseni, reservis on veel neli kohta. Igapäevaselt on lisaks klientidele kohal hooldajad. Hooldajaid on olnud juunis – juulis tööl 1 päeval, 1 öösel; augustis - septembris 1,5 päeval, 1 öösel; edasi 2 päeval, 1 öösel. Tööpäevadel lisanduvad juhataja, tegevusjuhendaja ja koristaja. Maksimaalselt on hoones olnud 39 inimest 2016. aasta aprilli lõpu seisuga.

Tabel 3.1 Hoone keskmine hõivatus mai 2015 - aprill 2016

Inimesed	Kuu												Aasta keskmine
	mai	juuni	juuli	august	september	oktoober	november	detsember	jaanuar	veebruar	märts	aprill	
	Inimesi päevas												
Kliendid	0	7	17	19	18	20	21	23	26	30	32	34	20,6
Hooldajad Päev/öö	1/1	1/1	1,5/ 1	1,5/ 1	1,5/ 1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2,7
Juhatus E-R koristaja	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1

Eakate kodus välja kujunenud tarbimisharjumused: saunaksäigud kell 9.30-11.30 ja 14.00-16.00, sõltumata nädalapäevast ning pesu pesemine ööpäevaringselt vastavalt vajadusele, triigitakse õhtuti.

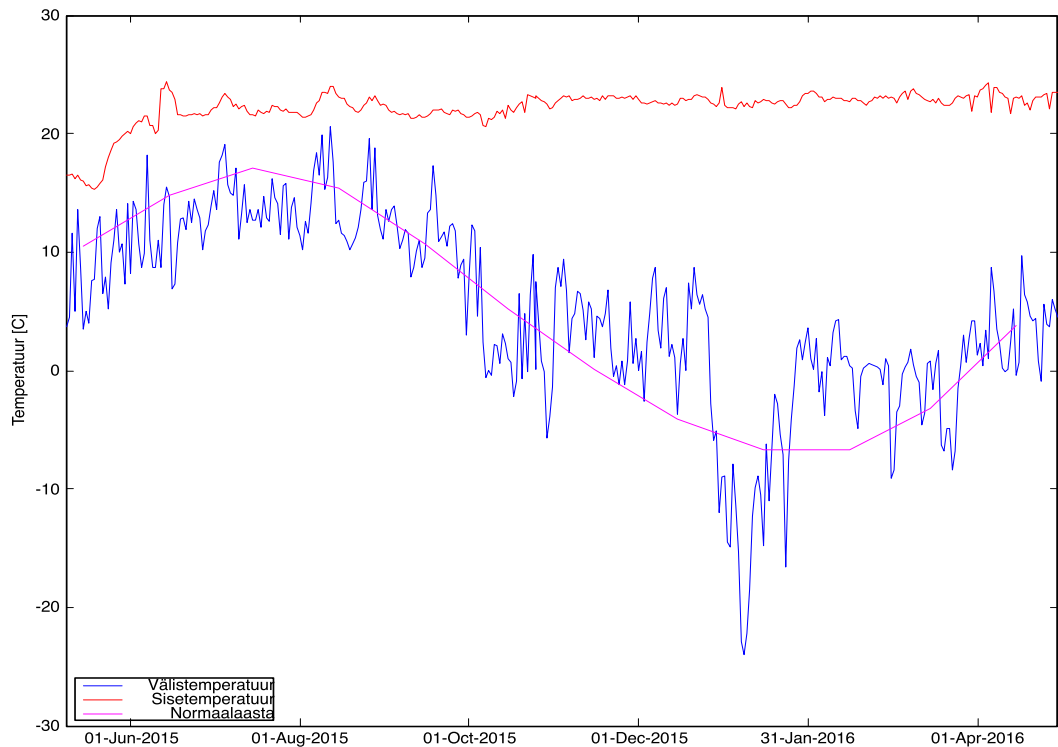
3.5.2 Temperatuur

Hoone hindamisel on klimatoloogiliste vaatlusandmete aluseks võetud Eesti kliima Tartu-piirkonna andmeid [47] ning hoone põhjaseinale paigaldatud temperatuurianduri kogutud näite. Hoone sisetemperatuur formeerub kütte ja vabasoojuse tulemusel, mis keskmiselt tõstab siseõhu temperatuuri 3-4 °C [48].

Tabelis 3.2 on välja toodud kuude keskmised mõõdetud sise- ja välistemperatuurid ning normaalaasta keskmised. Vaadeldav aasta oli normaalaastast keskmiselt 0,4 kraadi soojem, seejuures oli mõõtmisperioodil normist 2,4 kraadi jahedam suvi ja 0,9 kraadi soojem talv.

Tabel 3.2 Keskmised temperatuurid mai 2015 - aprill 2016

Temperatuur	Kuu													Aasta keskmine [°C]
	mai	juuni	juuli	august	september	oktoober	november	detsember	jaanuar	veebruar	märts	aprill		
	Kuude keskmised väärtused [°C]													
Sise-temperatuur	17.2	21.7	22.2	22.6	21.7	22.1	23.0	22.8	22.6	23.0	23.1	23.1	22.1	
Välis-temperatuur	8.5	11.8	14.3	14.1	11.2	2.6	3.9	1.9	-8.9	0.3	-1.7	3.4	5.1	
Normaasta välistemperatuuri keskmised [47]	10.5	14.8	17.1	15.4	10.7	5.2	0.1	-4.1	-6.7	-6.7	-3.2	3.8	4.7	



Joonis 3.2 Sise- ja välitemperatuuride päeva keskmised ja normaalaasta kuu keskmised väärtused perioodil mai 2015 - aprill 2016

Hoone sisetemperatuuride kõikumine on olnud 20,6 °C ja 26,2 °C vahel, välja arvatud 2015. aasta mai kuus, mil maja oli käivitamisfaasis ja sisetemperatuur keskmiselt 17,2 °C. Mõõtmisperioodi kuude keskmised temperatuurid on projekteeritud temperatuurinäitudest 0,7 - 2,1 °C kõrgemad. Joonisel 3.2 sisetemperatuuri joone esimene tõus juuni keskel markeerib põrandakütte sisselülitamist (vt joonist 3.8), ööpäeva keskmine sisetemperatuur küündis siis 23,8 kraadini. Talve välitemperatuuri maksimaalsete keskmiste väärtuste 7. jaanuari -22,9 °C, 8. jaanuari -24 °C ja 9. jaanuari -22,2 °C juures oli sisetemperatuur hoones vastavalt 22,7, 22,3 ja 22,6 °C. Mugav sisekliima oli talviste ekstreemumite puhul hoones tagatud. Jahe suvi pakkus soojemat ilma 6. – 13. augustini 2015, välitemperatuuri keskmised väärtused olid vahemikus 15,3 - 20,6 °C. Ööpäeva keskmised sisetemperatuurid hoones olid 22,0-24,0 kraadi, keskmisest kuni kaks kraadi kõrgemad. Hoones kasutatud kõrgemaid temperatuure põhjendatakse hoone kasutusfunktsiooni, eakate kodu eripäraga. Kliendid soovivad viibida soojemas keskkonnas. Nende mugav sisekliima on keskmisest soojem. Paikapanevaid järeltusi sisekliima tingimuste suhtes teha ei ole võimalik. Arvestades seda, et hoonel puudub jahutusüsteem, kuid on olemas lõunaakende varjestus välja ulatuva rõdu ja katuse näol ning hoone asub suurte puudega mõisapargis, ei ole ilmselt kuumema suvega olukord kriitiline.

3.5.3 Energeetiline bilanss

Hoone energiakulu hindamisel on aluseks võetud mõõtmisandmed ning kululiikide tinglikeks võrdlusandmeteks projekteeritud arvustuslikke lõppväärtusi. Hoone energeetiline bilanss on kokkuvõtvalt toodud tabelis 3.3. Tabeli väärtusi kasutatakse edaspidises analüüsis.

Tabel 3.3. Hoone energeetiline bilanss

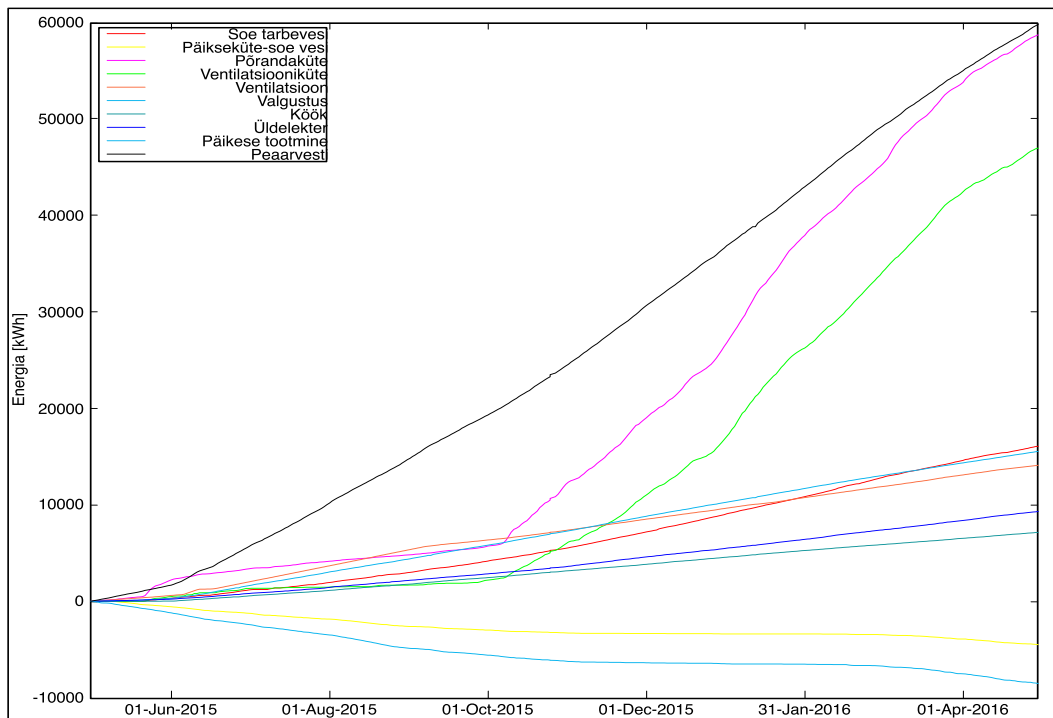
Tarbimise/ tootmise liik	Kuu												Kokku
	2015								2016				
	mai	juuni	juuli	august	september	oktoober	november	detsember	jaanuar	veebruar	märts	aprill	
kWh													
Soe tarbevesi (A1)	300	836	779	1053	1163	1366	1641	1849	1859	1926	1774	1538	16084
Päikeseküte-soe vesi(A6)	-546	-682	-609	-753	-389	-301	-55	-43	-10	-68	-450	-589	-4495
Põrandaküte (A3,A4,A5)	2107	1227	787	683	851	6471	6685	7613	11506	7146	8515	5148	58739
Ventilatsiooni-küte (A2)	469	860	132	211	490	3797	4871	5950	9484	7534	8408	4796	47002
Ventilatsioon (PI,PI2)	584	1376	1668	1683	1017	1024	1127	1133	1144	1111	1203	1037	14107
Valgustus (P2,P3,P8)	293	1286	1412	1373	1411	1486	1507	1464	1470	1302	1312	1234	15550
Köök (P5)	18	518	572	657	670	714	665	739	709	604	648	635	7149
Üidelekter (P4,P6,P7)	215	580	612	752	667	764	989	892	959	951	974	976	9331
Päikeseener.-el. tootmine (PI3)	-1156	-1223	-1080	-1383	-722	-649	-155	-104	-49	-179	-807	-1015	-8522
Peaarvesti (P1)	1629	3984	4491	4671	4502	5213	6054	6167	6359	6109	5749	4992	59830
Elektrienergia-kulu a.(P1-PI3)	473	2671	3411	3288	3780	4564	5899	6063	6310	5930	4942	3977	51308
Elektrienergia (P1) ja kõikide el.tarbijate (PI, PI2,P2-P8) vahe													13693
Soojusenergia (Pelletiküte)	2330	2241	1089	1194	2115	11333	13142	15369	22839	16538	18247	10893	117330
Kokku	Elektrienergia (P1-PI3)+soojusenergia (A1-A6)												168639

Mõõtmisandmete alusel on aastane elektrienergia ja soojusenergia kogukulu olnud 168639 kWh, soojusenergiat sellest 117330 kWh, elektrienergiat on imporditud 59830 kWh ning toodetud on 8522 kWh, seega elektrienergia osakaaluks on 51308 kWh. Bilansist selgus, et kõikide elektrit tarbivate mõõdetavate parameetrite (PI,PI2,P2-P8) vahel ja peaarvesti P1 elektrienergia tarbe vahel on märkimisväärselt suur, 13693 kWh vahe. Vea välja selgitamiseks analüüsiti arvestite tunnipõhiseid näite ja peaarvesti näitu ning ventilatsioonikütte ja ventilatsiooniagregaatide väärtusi, ka serveri lehel kuvatud andmeid, mis näitavad mõõdetud väärtusi hoone tehnosüsteemide järkjärgulisest ühendamisest alates (vt joonist 2.5) ning elektripaigaldise ja automaatika projekte [39, 40].

Elektriarvestite tunnipõhiste näitude ja P1 näitude vahel oli 854 kWh vahe, vt pt 3.5.4, mõõdetud väärtuse kasuks. Monitooringu mõõdetud andmete serveri arvestite kokkuvõttes monitoorimise algusest (osade andmete puhul märtsist 2015) kuni 28.aprillini kuvatud P1 ja elektritarbijate vahe oli 21698 kWh, peaaegu kahekordne päikseenergia PI3 tootmise väärtus, mis viitas sellele, et päikesenergia läbib arvestit kaks korda. Andmete mõõtmisperioodi samad päikseenergia tootmise väärtused 8522 kWh-ga ei andnud 13693 kWh vahe välja, mistõttu see variant langes välja. Ventilatsiooniseadmete tabeli elektrimootorite parameetreid uurides (vt p. 2.5.5 tabel 2.2) jõuti järeldusele, et seadmed ise tarbivad 7824 kWh rohkem elektrienergiat kui mõõdetud 14107 kWh. Tegelikuses võib see vahe sisaldada ka sooja tarbevee elektrikütte osas, sest elektrikütteelement on seal olemas (vt p 2.5.3) ning lõpuks võib see tuleneda sellest, et päris kõiki elektritarbijaid ei mõõdetata. Kuna vahe kindlaks tegemine ei ole võimalik, arvestati kululiik “muu” elektrikulu hulka.

Tabeli 3.3 andmete põhjal on koostatud energiakulu kumulatiivne graafik (joonis 3.4), kululiikide protsentuaalne jaotumine igakuiselt (joonise 3.4), energia kululiikide jaotumine (joonis 3.5) ning kululiikide protsentuaalne osakaal kogu bilansis (joonis 3.6).

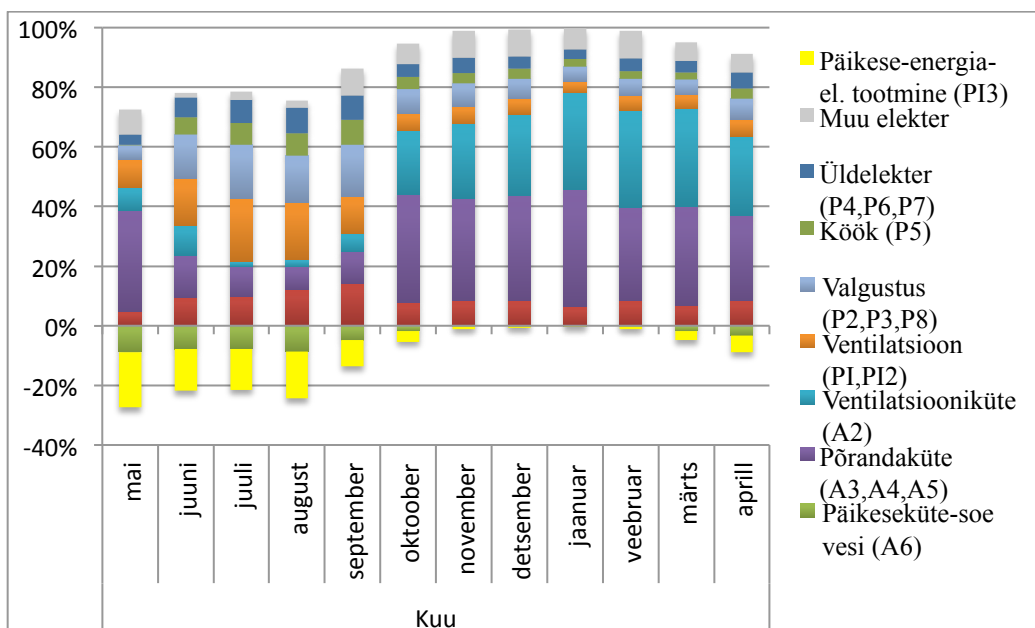
Kumulatiivselt graafikult joonisel 3.4 on näha, et soojusenergia kululiigid ventilatsiooniküte ja pörandaküte on tarbinud energiat oodatult minimaalselt suveperioodil ning järsu tõusuga kütteperioodi alguses, 2015. aasta oktoobris.



Joonis 3.3 Kumulatiivne energiakulu graafik

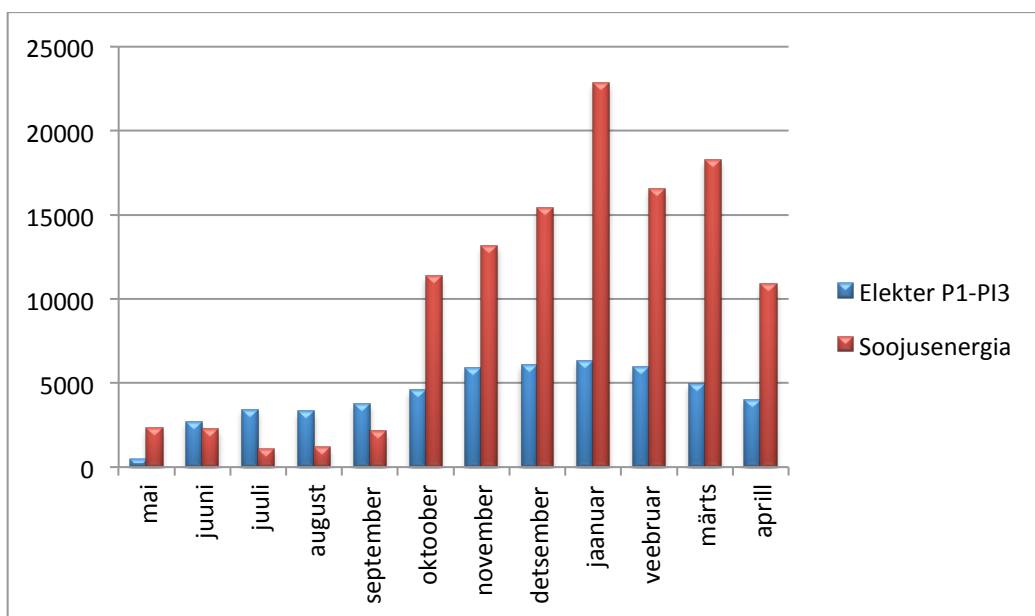
Selline tõus on tingitud pelletikatla tõrgetest oktoobris. Sooja tarbevee joone murdepunkt on detsembri esimeses pooles, klientide arv hakkas sellest hetkest suurenema seni stabiilselt püsinud 17-20 kliendil kuni 34 kliendini aprilli lõpuks (Tabel 3.1). Teiste kululiikide tõus on olnud ühtlaselt lineaarne.

Joonisel 3.4 on toodud kululiikide osakaal igas kuus. Hoone käivitamise alguses, mais 2015, oli põrandakütte kulujaotus kõige suurem, moodustades koguenergia kuubilansist 2107 kWh-ga ligi 40%, põrandakütte suur osakaal oli ka kütteperioodil, oktoobrist - aprillini. Ventilatsioonikütte kululiigi protsentuaalne jaotus oli küttevabal perioodil (mai 2015 - september 2016) 2-18% kuu muudest kululiikidest (132-860 kWh). Veebruari kuu ventilatsioonikütte poolt tarbitud energia 7534 kWh-ga moodustas 37% kogu veebruari energeetilisest bilansist ja ületas põrandakütte osa 7146 kWh-ga 2% võrra, teistel kuudel oli see põrandaküttest siiski pisut väiksem. Päikesekütte osakaal sooja tarbevee jaoks oli suurim suvekuudel ja mais, selle tootlikkus moodustas kuubilansist 6-10% ning päikesetootmise maksimumid moodustasid suvekuud 10-20% kuubilansist. “Muu” elektri suurim osakaal langes talvekuudele, olles oma tipptarbimisga 2077 kWh juures jaanuaris ning moodustas kuubilansist 7%.



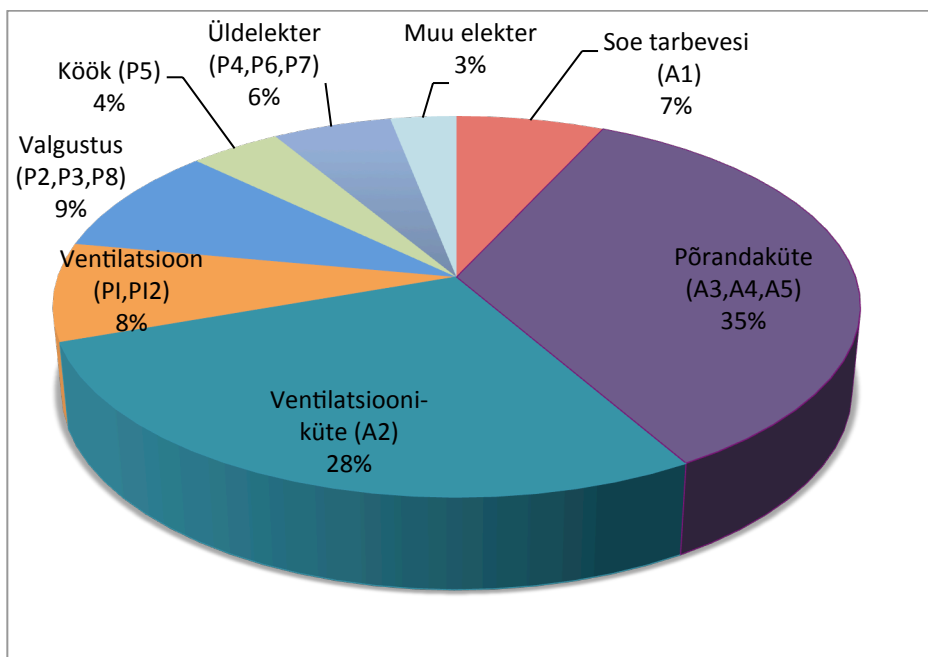
Joonis 3.4 Energiakulu protsentuaalne osakaal kuude lõikes 2015-2016.a

Joonisel 3.5 on näha kululiikide (soojusenergia ja elektrienergia) jaotumist kWh-s vaadeldud perioodi jooksul. Jooniselt on näha, et soojusenergia osakaal on kütteperioodil novembrist - aprillini olnud 2-3 korda kõrgem elektrienergiale kulunud osast, ulatudes jaanuaris 22839 kWh-ni samas on elektrienergiat kulunud 6000 kWh piiril. Kuigi kulutused soojusenergiale on väga suured, on ka külma perioodi elektrikulu olnud kaks korda suurem kui suvekuudel.



Joonis 3.4 Energiakulu liikide osakaal kuude lõikes 2015-2016.a (kWh)

Ruumide kütteks vajalik energia moodustab kogu hoone energiakasutusest 63% (joonis 3.6). Ülejäänud 37 % jaotuse energia bilansist moodustavad: 9% valgustus, 8% ventilatsiooniseadmed, 7% on kulunud sooja tarbevee tootmiseks, 6% üldelekter, 4% köögiseadmed ning 3% moodustab tundmatu “muu” elektrienergia.



Joonis 3.6 Energiakasutuse jaotus aastas, päikese negatiivset energiat ei arvestata

Kogu aasta energeetiline bilanss suurusega 168639 kWh jaguneb soojusenergiaks ja elektrienergiaks. Soojus- ja elektrienergia võrdluseks on tabelis 3.5 toodud projekteeritud väärtused, reaalaasta kulunud väärtused ja soojusenergia väärtused taandatult normaalaastale. Kraadpäevade väärtused on toodud tabelis 3.4.

Soojusenergiale kulunud energia erinevate aastate välisõhu temperatuuride mõju elimineerimiseks viiakse reaalse aasta soojustarbimine üle võrreldavale nn normaalaasta tarbimisele, kasutades seost [48]:

$$\theta_N = (\theta_{teg} - C) \frac{S_N}{S_{teg}} + C, \quad (1)$$

kus

Q_N – normaalaasta soojustarbimine, MWh;

Q_{teg} – tegeliku aasta soojustarbimine, MWh;

S_N – normalaasta kraadpäevade arv (lihtsad kraadpäevad, valitud vastavalt tasakaalutemperatuurile t_B hoones), kraadpäevade arv on toodud tabelis 3.4;

S_{teg} – tegeliku aasta kraadpäevade arv (valitud samal tasakaalutemperatuuril t_B , mis S_N);

C - kraadpäevadest sõltumatu soojustarbimine, MWh.

Tabel 3.4 Kraadpäevade arv tasakaalutemperatuuridel +16°C (oktoober-aprill) ja +13°C (mai-september) [46]

Kraadpäevad	Kuu												Aasta keskmine
	mai	juuni	juuli	august	september	oktoober	november	detsember	jaanuar	veebruar	märts	aprill	
	kraadpäevi												
Mõõteperiood	34	0	0	0	7	347	368	422	779	449	500	302	3207
Normalaasta	50	5	0	1	46	322	473	613	651	612	536	329	3638

Osa hoonetes tarbitud soojusest on nõrgalt seotud välisõhutemperatuuriga, seega praktiliselt sõltumatu kraadpäevade arvust. Seda iseloomustab eelpool toodud valemis suurus C . Kraadpäevadest sõltumatu soojustarbimise põhiosa moodustab sooja tarbevee valmistamiseks kulutatud soojus. [48]

Soojusenergiat on kulunud 117330 kWh, seal hulgas päikesepaneelidega sooja vee tarbeks toodetud 4495 kWh (tabel 3.3), taandatult normalaastale on soojusenergia kulu 130937 kWh, mis on 31% rohkem, kui arvatud väärtus 90104 kWh. Elektrienergiat on imporditud 59830 kWh ja päikesepaneelide poolt toodetud 8522 kWh, kogu elektrienergiatarve on olnud 51308 kWh. Elektri energiaarvutuste võrdlusandmetesse projekteerituga ei võetud arvesse kõigi energiakasutust ning välisvalgustuse P8 väärtust 574 kWh kuna vastavalt kehtestatud energiatõhususe miinimumnõuetega [15] ei sisalda ETA arvestus standardkasutusest spetsiifilisemaid energiakasutusi nagu suurröök ja välisvalgustus. Energiaarvestuse elektrienergia väärtus seega 43855 kWh, mis on 17% planeeritust suurem. Kogu tarbitud energia võrreldes projekteerituga on kasvatanud energiatõhususarvu väärtust projekteeritud 106-lt kWh/(m²a) (vt Lisa 1) 140-ne kWh/(m²a) taandatult normalaastale.

Tabel 3.5 Kuliliikide võrdlus

Kulu liik		Mõõdetud		Normaal- aasta	Projekteeritud (Lisa 2)		Vahe (reaalne/ normaal- aasta)	
								kWh
Soojusenergia pelletiküte	Põrandaküte	58739	11589	117330	130937	43298	90104	23/31
	Ventilatsiooniküte	47002				6981		
	Soe tarbevesi	16084				39825		
	Päikeseküte sooja vee tarbeks	-4495				0		
Elektrienergia	Ventilatsiooni- seadmed	14107	59830	51308	43855*	44459	36456	29/17*
	Valgustus	15550						
	Köök	7149						
	Üldelekter	9331						
	Muu elekter	13693						
	Päikese el. tootmine							
Kokku			168638	174792		126560	25/28	

Märkus: *ETA võrdlusandmeteks on arvestamata köök ja välisvalgustus (574 kWh) vastavalt [15]

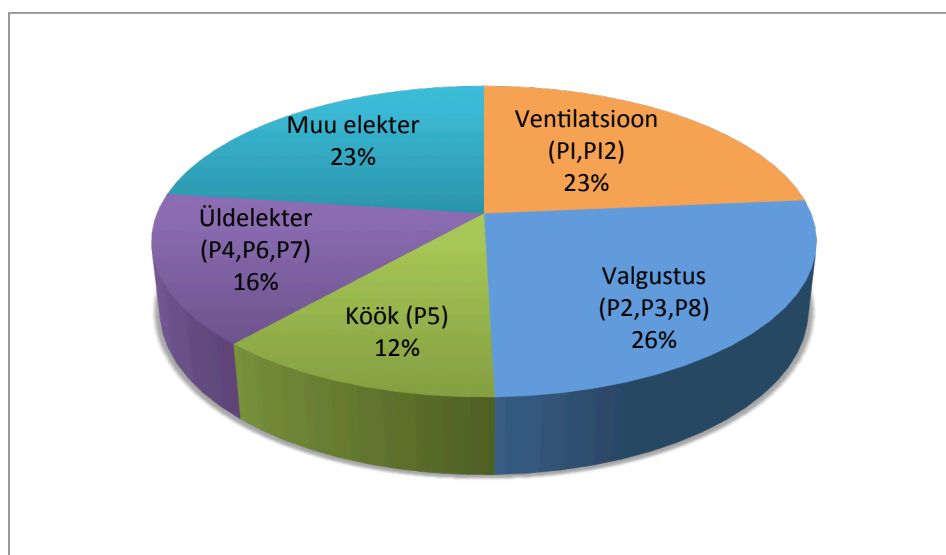
3.5.4 Elektrienergia

Tabel 3.6 koondab monitooringu tulemusel saadud andmete väärtusi ja Eesti Energia AS tunnipõhiste näitade põhjal koostatud kuude keskmisi väärtusi. Eesti Energia AS tunnipõhiste näitade arvestite järgi on imporditud 58976 kWh (vahe mõõdetud väärtusega -854 kWh) ja eksporditud 10656 kWh (vahe mõõdetud väärtusega 2134 kWh). Päikese tootmise mõõdetud väärtused ei ühti arvetel näidatud vastetega. Mõõdetud väärtused kirjeldavad päikese tootmise olukorda täpselt, vastavalt ilmastiku tingimustele, arvesti negatiivsed väärtused näitavad võrku müümise väärtust.

Tabel 3.6 Elektrienergia ekspordi ja impordi väärtused kuus

Tarbimise/ tootmise liik	Kuu												Kokku
	2015								2016				
	mai	juuni	juuli	august	september	oktoober	november	detsember	jaanuar	veebruar	märts	aprill	
kWh													
Mõõdetud Peaarvesti (P1)	1629	3984	4491	4671	4502	5213	6054	6167	6359	6109	5749	4992	59830
Mõõdetud Päikeseel. tootmine (P13)	-1156	-1223	-1080	-1383	-722	-649	-155	-104	-49	-179	-807	-1015	-8522
Eesti Energia arvesti näit, import	1102	3957	4426	4530	4448	5230	6076	6213	6295	6085	5716	4898	58976
Eesti Energia arvesti näit, eksport	-945	-1030	-913	-948	-981	-1002	-852	-859	-800	-707	-789	-830	-10656

Tabeli 3.3 põhjal koostatud elektrienergia üldine kulujaotus aastas on toodud joonisel 3.7. Suurimaks elektrienergia kuluks on kulutused valgustusele, 26% ulatuses. Järgnevad võrdsete osakaaludega ventilatsioon ja “muu” elekter (monitooringuga määramata energia) 23%, köögiseadmed on kasutanud 12% elektrienergiast ja üldelektrit on kulunud 16%.



Joonis 3.7 Elektrienergia protsentuaalne jaotus aastas

3.5.5 Soojusenergia

Soojusenergia on hoones tagatud pelletikatla poolt põranda- ja ventilatsiooniküttega. Joonisel 3.8 on graafiliselt näha soojusenergia graafikut. Põrandakütte- (graafikul tähistatud roosa joonega) ja ventilatsioonikütte (roheline joonega) jooned on reageerinud välistemperatuuri muutustele erinevalt. Põrandakütte puhul on näha järsemaid hüppeid käivitamise alguses, aasta kõige külmemal perioodil ning märtsi alguses soojale järgnenud taas külmal perioodil. Kütteperioodi alguse pelletikatla suur tõus graafikul oli tingitud katla perioodilistest seiskumistest oktoobris. Seiskumiste vältimiseks paigaldas katla haladaja monitoorimisseadmed, mis andsid pelleti lõppemisest või muudest katla tõrgetest haldajale operatiivset infot.

Ventilatsiooniküte on välistemperatuuri muutustele reageerinud väiksemate hüpetega kui põrandaküte, matkides välistemperatuuri (sinine joon) suhteliselt täpselt, moodustades välistemperatuurigraafiku negatiivi. 30. detsembril alanud külmaperiood keskmise välistemperatuuriga $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, tõusis ventilatsioonikütte vajadus ööpäevas 312 kWh-lt maksimaalse väärtuse 484 kWh-ni 5. jaanuaril. Põrandakütte joon reageeris külmale nihkega ja suurema energiakuluga (387 kWh). Põrandakütte maksimaalne väärtus saavutati aasta kõige külmemale päevale järgnenud päeval, 9. jaanuaril 2016 väärtusega 526 kWh. Summeeritult tarbisid põrandaküte ja ventilatsiooniküte koos maksimaalselt 916 kWh 12. jaanuaril 2016, mil välistemperatuuri ööpäeva keskmine oli $-9,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ning sisetemperatuuri keskmine $22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, päikesekütte osakaal oli null. Graafikult nähtub, et sisetemperatuuri kõikumisi ei saa seostada kummagi küteliigiga eraldi, ventilatsiooniküte ja põrandaküte mõjutavad seda vaheldumisi, küll aga ühtivad välistemperatuuri maksimumid ja miinimumid sisetemperatuuri tippudega. Seda teadmist kasutatakse edaspidi optimeerimise peatükis.

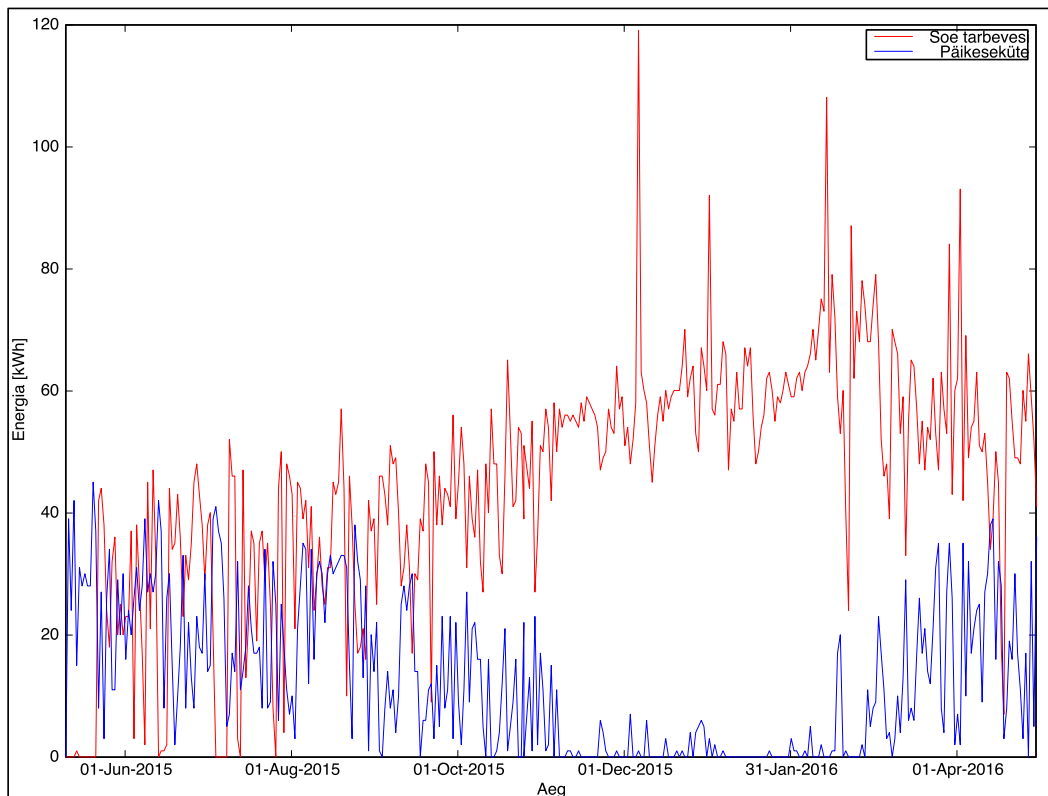


Joonis 3.8 Soojusenergia graafik

3.5.6 Soe tarbevesi

Sooja tarbevee saamiseks vajalik koguenergiakulu vaadeldud perioodil oli 16084 kWh (joonis 3.9), päikesepaneelide tootlikkus 4495 kWh. Sooja tarbevee vajadus on hoone käivitamisest alates pidevalt tõusnud, juuni keskmisest väärtusest 25 kWh päevas kuni 67 kWh-ni veebruaris. Märtsi ja aprilli kuu päeva keskmiseks sooja tarbevee saamiseks vajalik energiakogus oli vastavalt 57 ja 51 kWh.

Päikesepaneelide keskmine päeva tootlikkus (joonis 3.9) mõõtmisperioodil 1. mai 2015 - 30. aprill 2016 oli 12,6 kWh. Perioodi jooksul loendati 85 päeva, mil elektrienergia tootmist ei toimunud. Valdav enamus sellistest päevadest langes talvekuudele, suvekuudel ei mõõdetud ühtegi nullväärtusega päeva, maksimaalne päevatootlikkus 45 kWh oli 20. mail 2015.

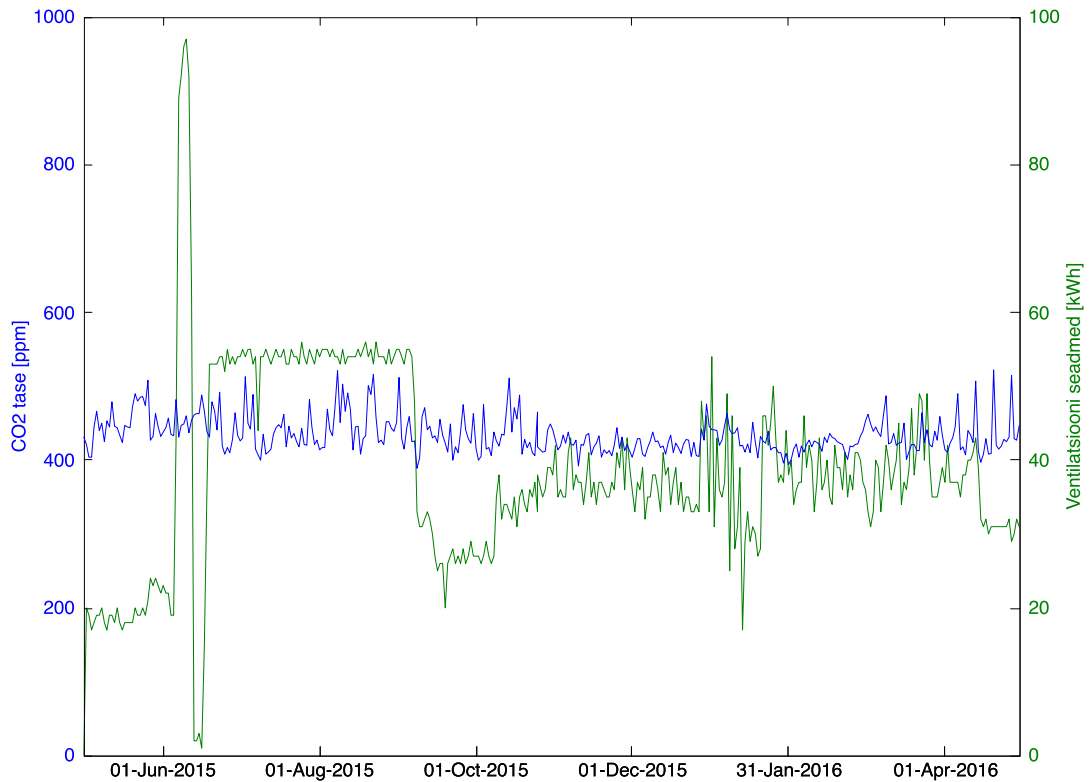


Joonis 3.9 Sooja tarbevee kulu ja päikese vaakuumkollektorite tootmine (kWh)

Suveperioodi tootmine 2612 kWh kattis tarbimisvajaduse 2993 kWh 87% ulatuses. Vaadeldud perioodi suvekuud olid normaastast jahedamad (tabel 3.2) ning projektispõhist päikesekütte 60% osakaalu pole saavutatud, see jäi 27,9%.

3.5.7 Ventilatsioonisüsteem

Hoone ventilatsiooni ülesandeks on tagada ruumide sisekliima. Sisekliima ühe parameetri – temperatuuri ülevaade on antud peatükis 3.5.2, teise parameetri, CO₂ sisalduse graafik on toodud joonisel 3.10. CO₂ sisaldus on aasta jooksul olnud keskmiselt 434 ppm, selle maksimaalne väärtus on küündinud 522 ppm-ni 20. aprillil 2016 ning minimaalne, väärtusega 389 ppm 8. septembril 2015.a. Ventilatsiooniseadmete ja CO₂ omavahelist seost graafikult ei ilmne. Sisekliima on hoones CO₂ parameetritest lähtuvalt väga hea, kuid liiga tihe õhuvahetus võib põhjustada õhu kuivust hoones ning mõjutada energiatarvet. On võimalik, et hoone elanike külmatunne on tingitud liiga tihedast õhuvahetusest ning see on koht ventilatsioonikulude minimeerimiseks.

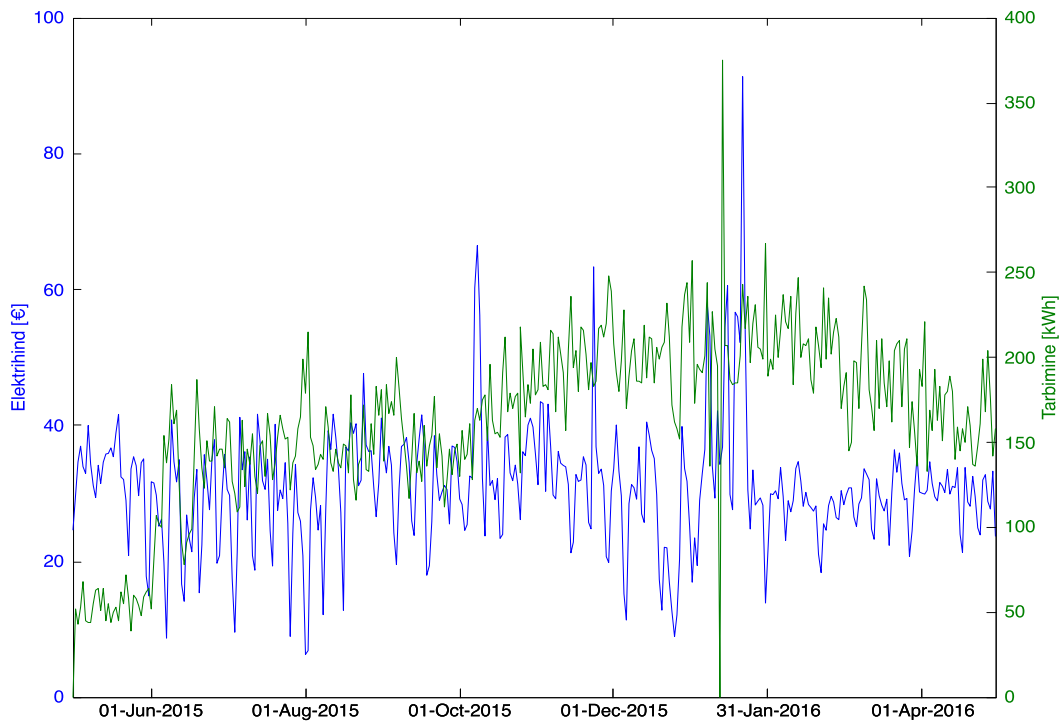


Joonis 3.10 Ventilatsiooni ja CO₂ suhe

3.5.8 Energia hind

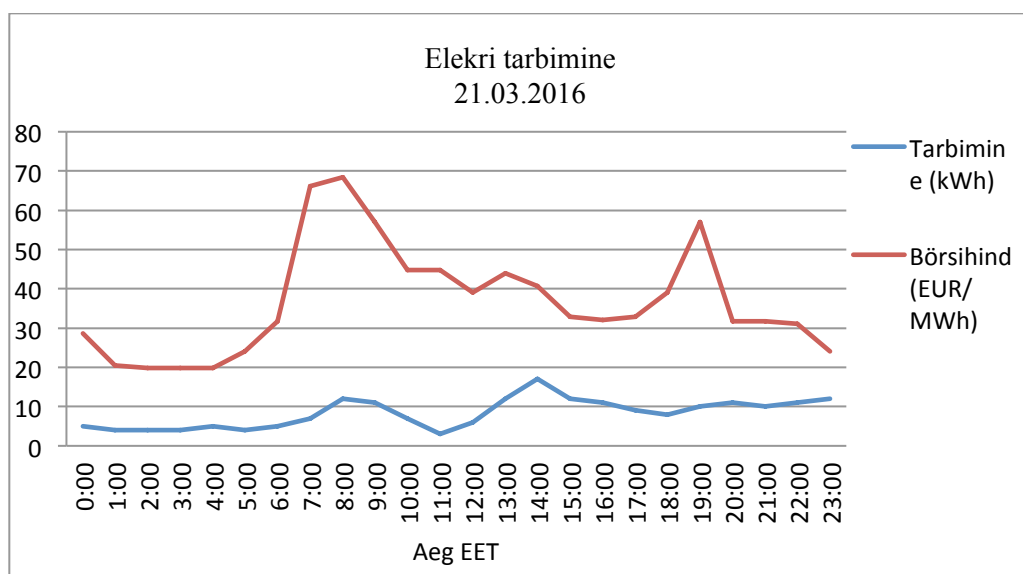
Elektrituru hindadena on kasutatud NPS (*Nord Pool Spot*) [49] elektribörsi tunnihindasid Eesti hinnapiirkonda CET/CEST ajatsoonis, mida korrigeeriti GMT +1/+2 aegreaks. Alusandmed on mõõdetud ja esitatud EET/EEST ajatsoonis, mida korrigeeriti GMT +2/+3 aegreaks.

Joonisel 3.11 on toodud elektrienergia börsihinna kõikumised aasta jooksul (tähistatud sinise joonega) ja eakate kodu elektrienergia tarve, peaarvesti P1 näidud (tähistatud rohelisega). Joonis väljendab päris hästi olukorda, kus eakate kodu elektrienergia kulu maksimaalsed väärtused on elektrienergia hinnagraafiku madalate väärtuste juures.

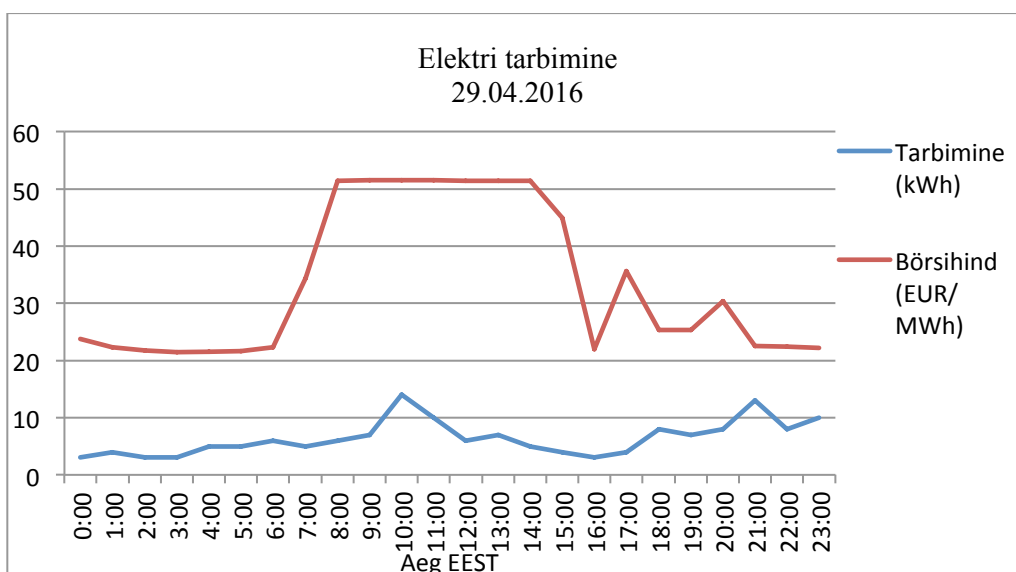


Joonis 3.11 Elektrienergia hinna ja tarbimise suhe

Tarbimisharjumuste ja börsihinna ööpäeva ülevaade on esitatud joonistel 3.12 ja 3.13. Võrdlusena on analüüsiks võetud nädala alguse, 21. märtsi 2016 (joonis 3.12) ja nädala lõpu, 29. aprilli 2016 (joonis 3.13) andmed. Esimesel joonisel on börsihinna kõver oma tavapärasel olukorras, hinna tippväärtused ühtivad inimeste tarbimistippudega hommikul kella 6-9 ja õhtul 17-20 vahel, tihti on börsihind kõrgem ka kella 12 ja 14 vahel (vt joonist 3.14).

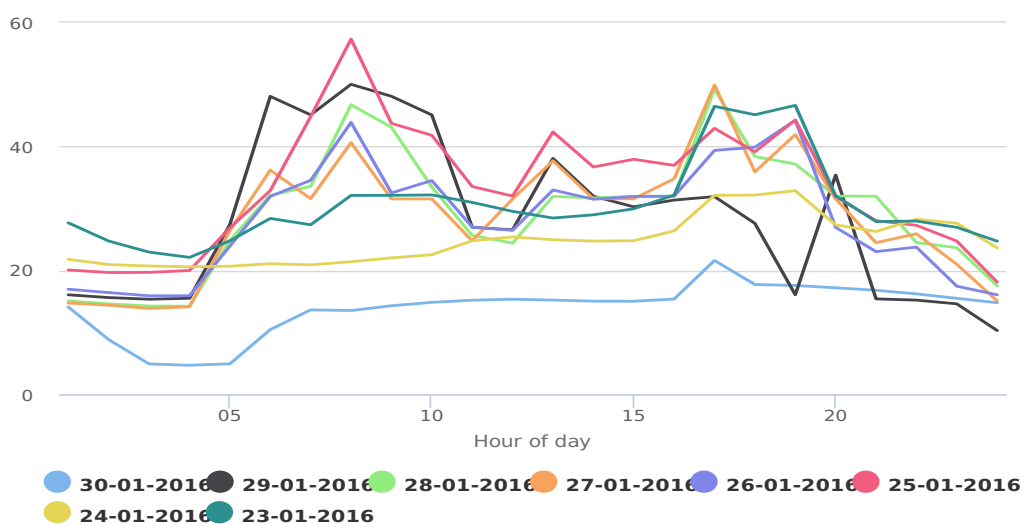


Joonis 3.12 Börsihinna ja tarbimise suhe 21.03.2016



Joonis 3.13 Börsihinna ja tarbimise suhe 29.04.2016

Teisel joonisel (joonis 3.13) on esindatud börsihinna veidi tavatum olukord, kus hind püsib kõrge kogu päeva, kuid on tavapäraselt madal öisel ajal. Eakate kodu päevatarbimine on siin vastavalt päevarutiinile hommikul. Õhtusest tarbimisest kella 9 paiku võib oletada, et on pestud pesu.



Joonis 3.14 Nord Pools Spot börsihind 23.01.2016-30.01.2016 [49]

Eakate kodu päevarutiin ei sõltu nädalapäevast, selle tarbimise tipp on harilikult hommikuti 9.30-11.30 ja 14-16 vahel. Seega oleks eakate kodu elektri tunnipõhise tarbimisarvestuse puhul tõhus lahendus elektrienergia säästmises, 10-12% [6, 36].

3.6 Vahekokkuvõte

Energiatõhususes osalevate parameetrite (p.3.5.1 - 3.5.8) analüüsi vahekokkuvõttena võib välja tuua:

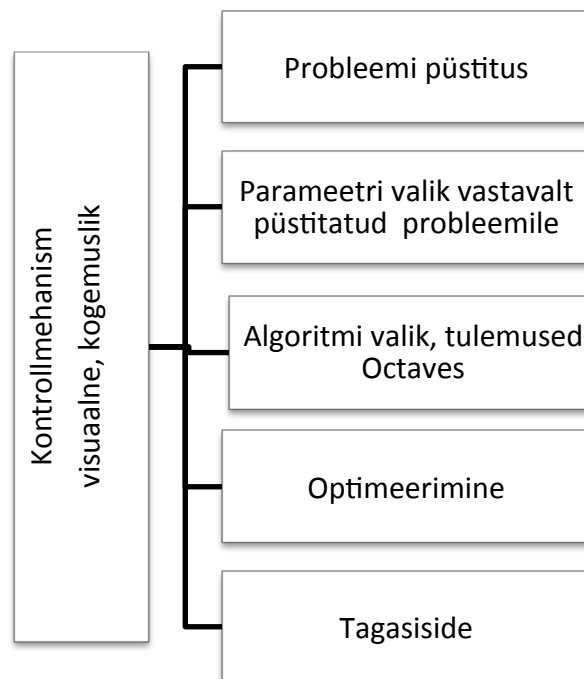
- sisetemperatuur hoones on kavandatust 0,7 - 2,1 °C kõrgem, aasta keskmiselt 1,5 kraadi. Temperatuurituõsu trend on andmetest selgelt loetav ja on seotud ka hoonet kasutatavate inimeste arvu suurenemisega. Kõrgemaid temperatuure on põhjendatud klientide sooviga;
- hoone ventilatsioonisüsteemi õhuvahetus on liiga tihe, CO₂ sisaldus on keskmiselt 434 ppm. Tihe õhuvahetus võib põhjustada õhu kuivust hoones ning mõjutada energiatarvet, see võib olla ka hoone elanike külmatunde põhjuseks;
- soojusenergiat on kulunud 31% kavandatust enam, üllatas ventilatsiooniküttele kavandatust 35% suurem osa;
- elektrienergiat on kulunud 17% võrra rohkem. Elektrienergia suurim kulutus oli valgustusele (26%), järgnesid võrdselt ventilatsioon ja “muu” elekter, 23% kumbki;
- elektrienergia tarbimise tipud langevad kokku börsihinna madalate väärtustega. Seda teadmist tuleb elektriarvestite üleminekul automaatsele lugemisele ära kasutada (üleminek Eestis 2017. aasta 1. jaanuarist);
- päikesekütteks kasutatud vaakuumkollektorid suutsid tarbevee soojendamiseks vajalikku energiat toota ligi 28% ulatuses, projekteeritud 60% asemel. Oli ka keskmisest 2,4 kraadi jahedam suvi;
- päikesenergia tootmiseks kasutatavad fotoelektrilised paneelid said samas oma tööga hästi hakkama, tootsid täpselt samapalju kWh kavandatuga.

Kokkuvõtte tulemusel otsustati käesoleva uurimistöõ optimeerimiseks p. 3.7 kasutada suurema kululiigina silma paistnud ventilatsioonikütet, CO₂ sisaldust õhus ning sisetemperatuure ja elektrienergia tarbimise ja hinna suhet.

3.7 Optimeerimine

Optimeerimise põhimõtted toetuvad numbrilisele analüüsile [26], neid rakendatakse peatükis 3.2 kirjeldatud meetodi kolmanda etapi alusel. Optimeerimise kontseptsiooniks on analüüsitud andmete põhjal probleemi püstitus, probleemi lahendis osalevate parameetrite valik, algoritmi valik ja tulemused GNU Octaves (numbrilised ja graafilised) ning tulemuste hindamine, seejärel optimeerimine ja tagasiside - püstitatud probleemi lahend.

Skemaatiliselt kontseptsiooni olemus joonisel 3.15.



Joonis 3.15 Optimeerimise skemaatiline kontseptsioon

Kuna puuduvad konkreetsed juhised ja meetodid kuidas sooritada komplektset optimeerimist [50], siis koosmõju hindamine on selles peatükis jäetud tegemata. On proovitud optimeerida energiatõhususe mõjuparameetreid eraldi.

Probleemi püstitamisel lähtuti eelmises peatükis analüüsitud hoone energiabilansis olulist kaalu omavatest parameetritest või nende kombinatsioonist. Optimeerimist teostati GNU Octave'is kasutades normaalvõrrandi (*Normal Equation*) meetodit (võrrand 2) ja mitme muutujaga lineaarse regressiooni algoritmi. Algoritm tuvastab lineaarset suhet sõltumatute muutujate (x) ja sõltuva muutuja (y) vahel valemi järgi:

$$\theta = (X^T X)^{-1} X^T y, \quad (2)$$

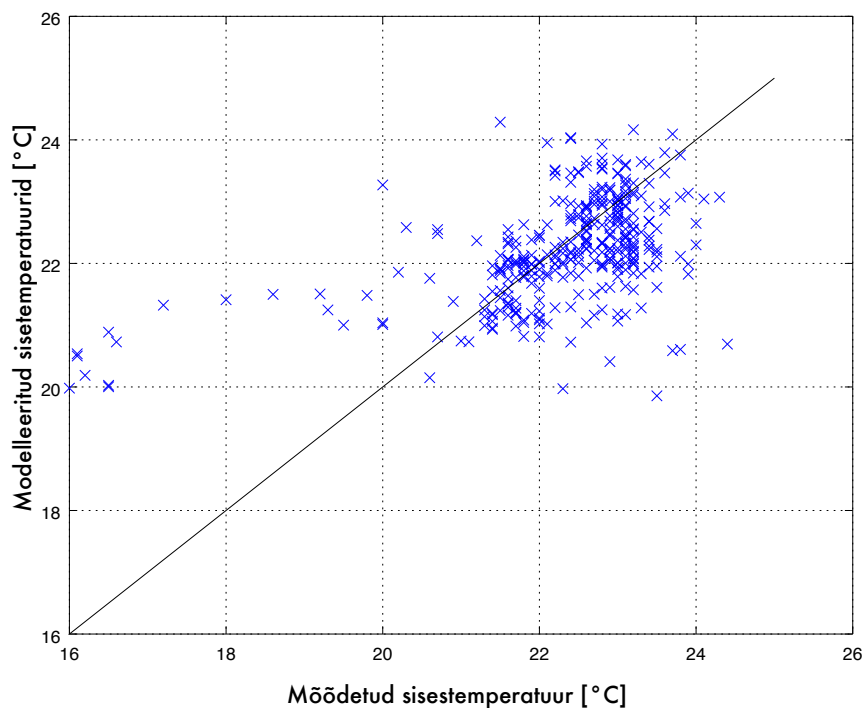
kus

θ – otsitav parameetervektor;

$(X^T X)^{-1}$ – on pöördmaatriks X-ist;

$X^T y$ – momendi maatriks.

GNU Octave programmi mudeli õigsuse hindamiseks kasutati sisetemperatuuri mõõdetud andmeid. Modelleeritud sisetemperatuuride erinevuseks reaalselt mõõdetud temperatuuridest mõõdeti 0,07 C°, mis andis kindlust mudeli õigsuses. Täiendavalt teostati mõõdetud ja modelleeritud temperatuuride korrelatsioon lineaarse regressiooni kaudu (joonis 3.16). Sõltumatuks muutujaks (x) oli mõõdetud temperatuur ja sõltuvaks muutujaks (y) modelleeritud temperatuur.



Joonis 3.16 Korrelatsioon mõõdetud ja modelleeritud temperatuuride vahel

Sisetemperatuuride modelleeritud väärtused on 21° C ja 24 °C vahel väga täpsed, madalamatel sisetemperatuuridel (16 - 21°C) on mudeli väärtused kõrgemad. Probleemiks võib olla liiga väike valim. Hoone sisetemperatuuride madalad väärtused 2015. aasta mais

võisid tuleneda ka värskelt valminud massiivse hoone külma salvestumisest, või lihtsalt uste-akende lahti hoidmisest, sest sisetemperatuurid on sel perioodil välistemperatuuriga samad. Kokkuvõttes hinnati mudeli täpsust piisavalt heaks edaspidiste optimeerimislahenduste arvutustes.

3.7.1 Ventilatsiooniküte

Probleemipüstituseks oli ventilatsioonikütte kulu vähendamine. Uuritava parameetri sõltuva muutuja $y=A2$ modelleerimiseks ja püstitatud probleemi lahendamiseks sisestati arvutusprogrammi sõltumatud muutujad x : sisetemperatuur TE30; põrandakütted A3, A4, A5; ventilatsioon PI ja PI2; ning välistemperatuur TE00 (joonis 3.17). Sisetemperatuuri vähendati 0,5 kraadi võrra ja ventilatsiooniseadmete tööd vähendati kaks korda, seoses ventilatsioonisüsteemi CO₂ aasta keskmise madadala väärtusega (434 ppm).

```
X = [te30(:, 2), a3(:, 2), a4(:, 2), a5(:, 2), pI(:, 2), pI2(:, 2), te00(:, 2)];
y = a2(:,2);
theta = linear_reg(X, y);

change = -0.5;

fault = zeros(y, 1);
res = zeros(y, 1);
for i = 1 : size(y)
    Xi = [1 te30(i, 2) a3(i, 2) a4(i, 2) a5(i, 2) (pI(i, 2) / 2) (pI2(i, 2) / 2)
te00(i, 2) ];
    fault(i) = Xi * theta;
    Xi(1, 2) = Xi(1, 2) + change;
    r = Xi * theta;
    res(i) = r;
endfor

plot(te00(:, 1), y, 'color', 'b');
hold on;
plot(te00(:, 1), res, 'color', 'r');
legend('Olemasolev olukord', 'Optimeeritud -0.5 C');
ylabel("Energia [kWh]");
datetick('x', 'dd-mmm-yyyy');
hold off;
axis([te00(1,1), te00(l, 1)])

diff = 0;
for i = 1 : l
    diff += abs(y(i) - fault(i));
endfor
printf("Fault: %f kWh\n", (diff / length(y)));
s = sum(y);
printf("Tarbimine: %d kWh\n", sum(y));
printf("Prognoos (%d kraadi): %d kWh\n", change, sum(res));
printf("Diff: %f kWh\n", sum(y) - sum(res));
```

Joonis 3.17 Octave töölaua vaade. Muutujate kirjeldamine

Optimeerimise tulemuseks saadi ventilatsioonikütte A2 osaks 41857 kWh, mis on 10,9 % vähem tarbitud ventilatsioonikütte energiakogusest.

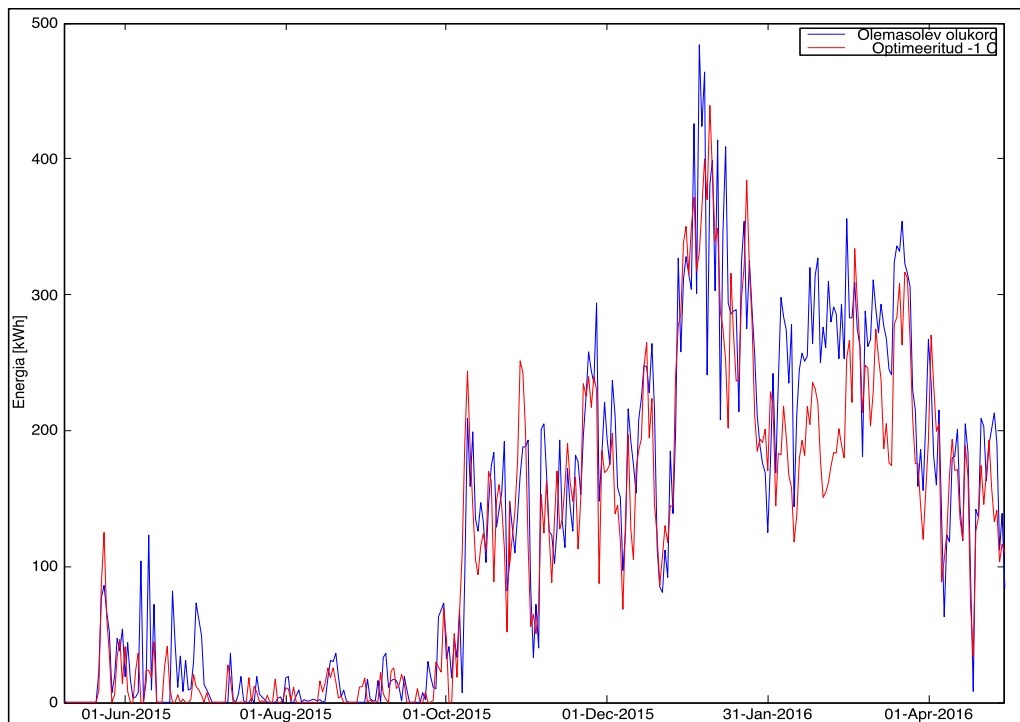
```

octave:31> run progn5
Fault: 31.191073 kWh
Tarbimine: 47002 kWh
Proгноос (-0.5 kraadi): 41857.4 kWh
Diff: 5144.593950 kWh
octave:32>
octave:32> run progn5
Fault: 31.191073 kWh
Tarbimine: 47002 kWh
Proгноос (-1 kraadi): 40474.2 kWh
Diff: 6527.819771 kWh
octave:33>
octave:33> run progn5
Fault: 31.191073 kWh
Tarbimine: 47002 kWh
Proгноос (-2 kraadi): 37707.7 kWh
Diff: 9294.271411 kWh

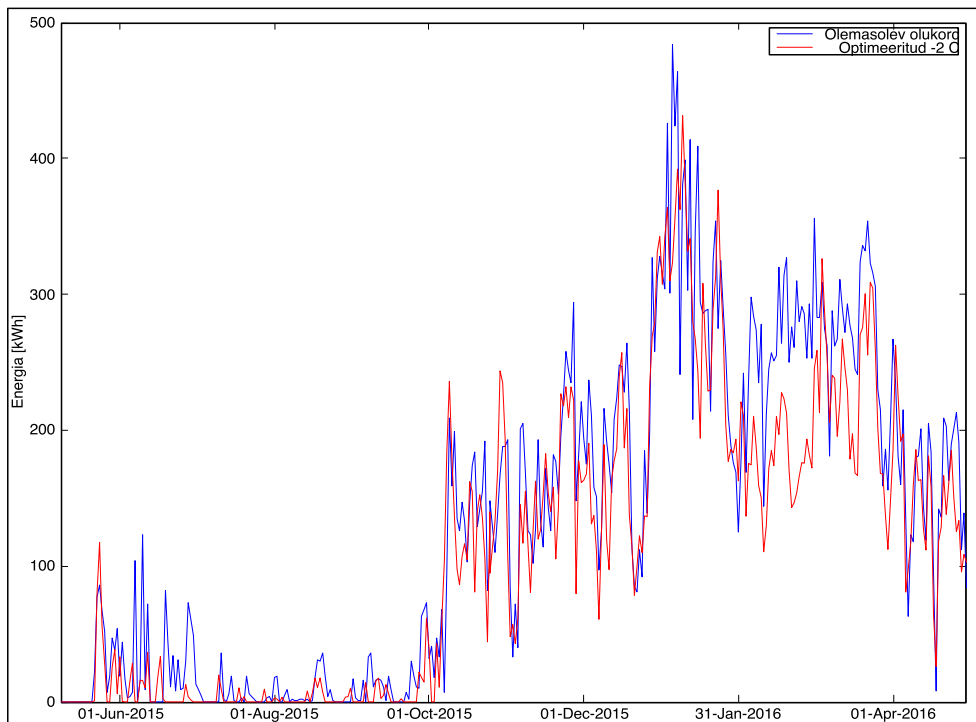
```

Joonis 3.20 Töölaua vaade. Tulemus

Sama manipulatsiooni teostati ka sisetemperatuuride langetamisega ühe ja kahe kraadi võrra (joonised 3.21 ja 3.22). Joonistel punase joonega tähistatud optimeeritud joone modelleeritud väärtused on 300 kWh-st suuremaid kulu väärtusi langetanud ning küttesüsteemi käivitamistel ventilatsioonikütte väärtusi suurendanud. Ühekraadise sisetemperatuuri langetamisega saavutati ventilatsioonikütte osakaalu vähenemine 40474 kWh-ni, mis teeb 13,8% ning kahekraadise vähenemise korral oli sääst 9294 kWh, 19,7%. Kuna ventilatsioonikütte osaks on 40% kogu soojusenergiale kulunud energiast, siis soojusenergia suurim sääst oleks ventilatsioonikütte puhul 7,9% kahekraadise sisetemperatuuri alandamise korral.



Joonis 3.21 Optimeerimine. Sisetemperatuuri vähendamine 1°C võrra



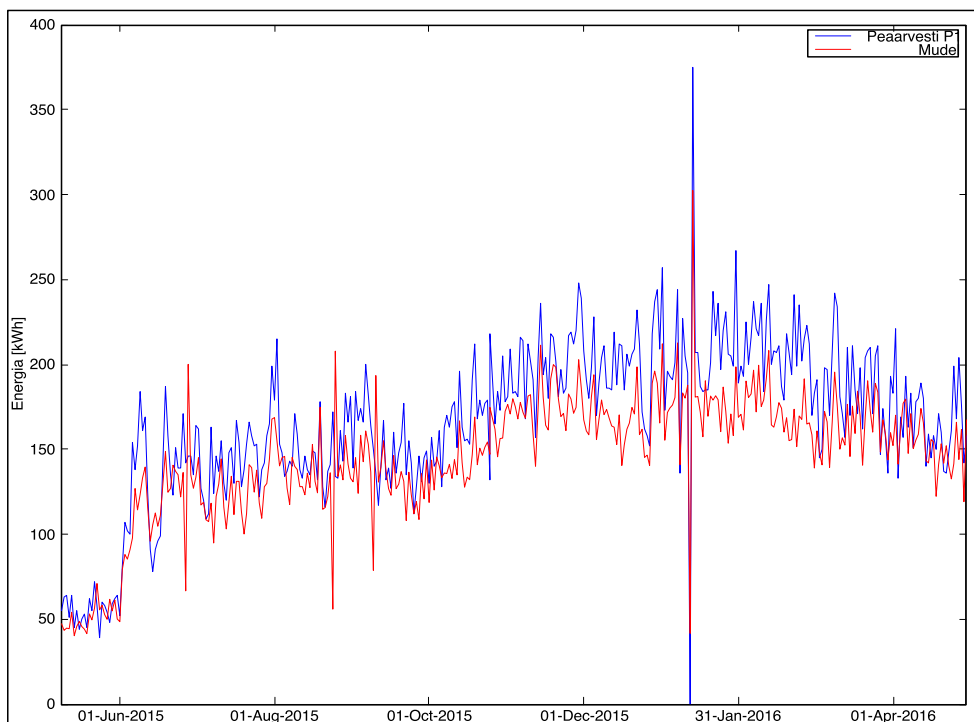
Joonis 3.22 Optimeerimine. vähendamine 2°C võrra

3.7.2 Elektrienergia

Probleemipüstituseks oli elektrienergia vähendamine. Peaarvesti P1 aastaseks kuluks on mõõdetud 59830 kWh. Kuna analüüsi graafilistelt joonistelt elektrienergia kulu käitumuslikud mustrid on vaadeldud perioodil tõusnud igakuiselt proportsionaalselt soojusenergiaga jõuti järeldusele, et osa elektrienergiakulust mõjutab sisetemperatuuri ja on mõtet proovida mudelit ka elektrienergia alandamises.

Uuritava parameetri sõltuva muutuja $y=P1$ modelleerimiseks ja probleemi lahendamiseks valiti arvutusprogrammi sõltumatud muutujad x : TE30-2 C°, 0,5A2, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, PI/2, PI2/2 ja TE00. Sisetemperatuuri TE30 vähendati 2 kraadi võrra ja ventilatsioonikütte osa elektritarbe osakaaluks arvestati 50%, ventilatsiooniseadmete tööd vähendati kaks korda. Tulemuseks oli peaarvesti P1 näit vähenenud 13,2 %, 7910 kWh võrra. Graafiliselt tulemus joonisel (3.23), sinise joonega on märgitud olemasoleva elektrinäidu graafik ning punase joonega optimeeritud joon. Süsteemi elektrikatkestust (12.jaanuaril 2016.a.) tähistav nulli kukkumine kogutulemile mõju ei avalda. Arvesse on läinud päeva keskmised väärtused ning graafilise joone nullväärtuse ja maksimaalse näidu

vahe on arvutustes korrektne. Optimeeritud (punase) joone graafik on väiksema tõusuga detsembrist aprillini.



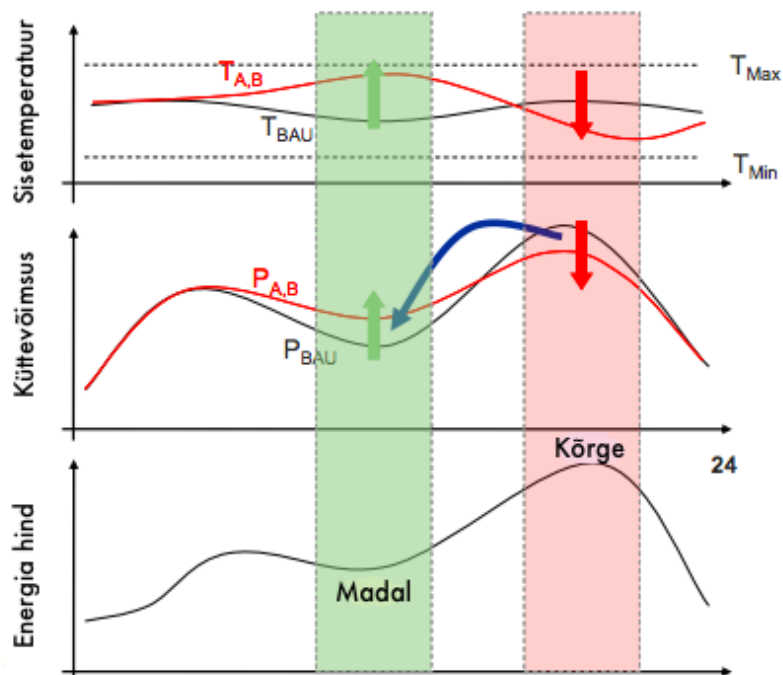
Joonis 3.23 Elektrienergia graafik. Mõõdetud (sinine joon) ja optimeeritud (punane joon)

3.7.3 Optimeerimine börsihinna kaudu.

Börsihinna kaudu optimeerimine eeldab aruka arvestisüsteemi olemasolu, st hoone peab olema ühendatud võrku tunnipõhise arvestiga ning ka hinna arvestamine toimub vastavalt sellele. Eakate kodus on tunniarvesti, kuid arvestite hinna arvestamine tunnipõhiselt on võimalik alates 2017. aastast [35].

Optimeerimise põhimõtet selgitab joonis 3.24. Kui energia hind on madal (joonisel alumise kolmandiku roheline osa), siis toimub aktiivne ruumi soojendamine (joonisel küttevõimsuse roheline osa tõstmine P_{BAU} kuni P_{AB} punase jooneni), ruumi sisetemperatuur tõuseb siis jooneni T_{max} (pildi ülemise kolmandiku roheline tsoon). Kui energia hind on kõrge, deaktiveeritakse kütte ja lastakse sisetemperatuuril langeda väärtuseni T_{min} (joonise punases tsoonis). [6]

Süsteemi eelduseks on automatiseeritus, mingi liidese olemasolu monitooringusüsteemis.



Joonis 3.24 Hoone elektrienergia kasutamine: must joon (BAU) tavakasutusena ja punane joon (A,B) börsihinda jälgiv [6]

3.7.4 Optimeerimise kokkuvõte

Modelleeritud optimeerimist teostati sisetemperatuuri kõrgematest väärtustest ja CO₂ sisaldusest lähtuvalt. Tulemusena saadud maksimaalne sääst kahekraadise sisetemperatuuri alandamise ja ventilatsiooni kahekordse vähendamise korral oleks ventilatsioonikütte puhul 19,7% (kogu soojusenergia arvestuses 7,9%) ja elektrienergia puhul 13,2%. Summaarne sääst 10,2% ei tundu suur, kuid kuna mudeliga omavahelist koosmõju ei arvestatud ja hoonesüsteem toimib tervikuna, võib eeldada, et tulemus oleks modelleeritust parem. Elektrisüsteemi automatiseerimisega, mis arvestaks elektrituruhindadega oleks teistest uuringutest lähtuvalt lisasääst võimalik 10-12% [6, 36]. Kui siia juurde lisada veel päikese positiivne 14% mõju, võiks reaalsed kulutused elektrienergiale potentsiaalselt väheneda vähemalt projekteeritud tasemele (-29 %).

4. TULEMUSED JA ARUTELU

4.1 Probleemi analüütiline lahend

Monitooringu tulemused energiatõhususe osas pole kiita, hoone tarbib kavandatust 28% rohkem energiat. Kuni kütteperioodi keskpaigani detsembri lõpus oli hoone oma energiakasutuselt liginullenergiahoone graafikus, jäädes 90 kWh/(m²a), kuid välistemperatuuride langusest alates on ETA pidevalt kasvanud, olles aprilli lõpuks juba 140 kWh/(m²a).

Uurimistöö käigus analüüsitud andmete põhjal leidis kinnitust töö teoreetilises osas kirjeldatud problemaatika energiatõhusate hoonete energiatõhususest paberil (väljastatud energiamärgisel) ning sellest, et hoone opereerimisfaasis kujunev ETA number sõltub väga paljudest parameetritest. Eakate kodu puhul on üheks selliseks parameetriks kindlasti kavandatust keskmiselt 1,5 °C kõrgem sisetemperatuur hoones ja teiseks ventilatsiooni üledimensioneeritus, st liiga head sisekliima tingimused õhuvahetuse osas. CO₂ kogus on kogu hoone monitooringu perioodil püsinud vahemikus 389-522 ppm (lubatud on 1000 ppm). Hoone suurem energiakulu on tingitud osaliselt ka küttesüsteemi tõrgetest kütteperioodi alguses. Sisetemperatuuri kõrgemaid väärtusi põhjendatakse klientide sooviga viibida soojemas ruumis.

Tööga leiti, et monitooringu andmeanalüüsi kaudu ei ole päris täpselt võimalik kindlaks määrata, kuidas opereeriva hoone süsteem tervikuna (soojusenergia ja elektrienergia kasutus) töötab. Energiabilansi elektrienergia kululiigina tarbitud “muu” elektrienergia päritolu ei suudetud puhtalt monitooringuga kogutud andmetest välja lugeda. Mõõteandmete lugemine ja nende tõlgendamine on väga aeganõudev tegevus, mis eeldab hoone süsteemi põhjalikku tundmist.

Hooneautomaatikaga ühendatud andurid ja mõõturid võimaldavad süsteemi ümber häälestamist vastavalt olukorrale manuaalselt, kuid selleks peab keegi jooksvalt analüüsima olukorda ning reageerima vastavalt. Hoone mõõdistusandmete kogumisel pole mõtet, kui nende andmetega midagi peale ei hakata. Mõõdistuste analüüsi peab keegi teostama, mis on lisatöö. Seadmete monitooringu kaudu hoone energiakasutuse

optimeerimise võimalikkus leidis kinnitust. Seadmete monitooring võimaldab tuvastada süsteemirikkeid. Analüüsidest energiatõhusust mõjutavaid parameetreid on võimalik energiakasutuse optimeerimine, mis leidis kinnitust ka teoreetilise mudeli puhul.

Olemasolevate lahenduste kasutamist on kulude optimeerimiseks teostatud jooksvalt. Ka hoone haldajad alles õpivad süsteemi tundma. On reageeritud tõrgetele. Näiteks pelletikatla tõrgete vältimiseks paigaldati monitoorimisese katla hooldaja poolt, mis võimaldas reageerida pelleti lõppemisele või katla seiskumistele muudel põhjustel operatiivselt, kuid see lahendus nõudis süsteemi täiendamist veel ühe monitoorimiseseadmega.

4.2 Monitooringu olulisusest

Uurimistöö analüüsi aluseks püstitatud hüpotees monitooringu olulisusest energiakasutuse kitsaskohtade leidmisel leidis kinnitust. Energiakasutuse kitsaskohad on Väätsa eakate kodu puhul tundmatu elektriku, mis moodustas 23% elektrienergia kogukulust ja sama suure osakaaluga ventilatsioon. Kui ei teata millele kulutatakse, ei ole seda ka vähendada kuidagi võimalik.

Hoonete järjepidev monitooring ja optimeerimise hinnang on olulised saamaks teavet energiakulutustest, kuid monitooritavad andmed peavad olema lahti kirjutatud. Kui monitooringu tulemuste esitamine ja nendele reageerimine manuaalse süsteemi puhul on tehtud tehniliselt liialt keeruliseks, kaob inimestel igasugune huvi asja vastu.

Käesoleva uurimistöö alusandmete analüüs oleks olnud lihtsam, kui andmeid oleks kirjeldatud ning andmeridu, mida analüüsida, oleks olnud rohkem kui 500 kirjet. Päeva kesmine väärtus ei anna piisvat informatsiooni tegeliku olukorra kohta, ka optimeerimine oluiks täpsem. Andmete registripikkuse hoidmine 500 kirje kohta ja üle kirjutamine ei ole mõistlikud tegevused, andmeanalüüsis on oluline töödelda võimalikult suurt andmehulka.

Andmete kogumine ning nende põhjal tehtud hoone analüüs võimaldavad leida käitumuslikke mustreid, mida tavaolukorras numbritest (tarbitud kWh) ei ole välja loetavad. Mustrite põhjal on võimalik lineaarse regressiooni algoritmi kasutades modelleerida ja ennustada hoone energiatõhusamat opereerimist.

Vaatamata kirjeldatud probleemsetele kohtadele pole tulevikus ilmselt ühtegi uut hoonet ilma automaatikata, mis jälgib meie tarbimist kas siis meie endi loal iseseisvalt, või meie aktiivse kaassekkumise kaudu.

4.3 Tõhustamise meetmed

Väätsa eakate kodus on teostatud monitoorimise põhitase, mis tuleks muuta modelleeritud andmete järgi automaatseks. See nõuaks lisakulutusi vastava tarkvara soetamiseks ja seadmete elektroonilist juhtimist. Alustuseks võiks teha manuaalset parandust. Keerata ventilatsioonikutet vähemaks sisetemperatuuri vähendamise kaudu ja kärpida CO₂ sisaldust hoones. Klientide külmatunnet suurendab ilmselt ventilatsiooniõhu liikumine. Soovitus proovida sisetemperatuuri alandamist vähemalt 1 kraadi võrra ning ventilatsiooni õhuvoolu kärpida vähemalt 25%, kuid proovida ka kuni 50% kärbet. Säät antud lahenduse puhul oleks vähemalt 5% soojusenergia kulust.

Kuna päikesenergia poolt on fotoelektriliste päikesepaneelide kaudu suudeti katta 14 % hoone elektrienergia tarbest, siis võiks kaaluda päikesepaneelide koguse suurendamist lamekatuse osale.

Soovitus on automatiseerida elektrisüsteem, mis arvestaks elektrituru hindadega. Väätsa eakate kodu on oma tarbimisharjumistega elektrikulu tippväärtuste juures madalate elektribörsi hindade juures. Säät selliselt oleks teistest uuringutest lähtuvalt kuni 12%.

KOKKUVÕTE

Hoonete energiatõhusus on aktuaalne kogu maailmas. Hoonete monitooring energiatõhuse meetmena on seejuures taastuvate energiaallikate kõrval kujunemas väga vajalikuks ja oluliseks viisiks targa tarbimise suunas. Kui me monitooringu tulemusena teame, millele energiat rohkem kulub, siis on sellele võimalik ka reageerida. Hoonetele kuluva energia monitooringu olulisust näitab andmetöötluse valdkonna kiire kasv.

Käesoleva töö eesmärgiks oli analüüsida aasta aega opereeriva hoone energiatõhusust hoone monitooringuandmete kaudu, leida monitooringu olulisus ja mõju hoone energiakasutuse optimeerimisel ning monitooringuandmete analüüsi põhjal pakkuda teoreetiline energiasäästu mudel energiakulu parameetrite omavahelise lineaarse sõltuvuse kaudu.

Eesmärkide saavutamiseks uuriti mõõdetud andmeid, nende analüüsiks koostati tabelleid ja jooniseid, mille alusel hinnati hoone käitumuslikke mustreid. Andmete analüüsi põhjal valiti energiatõhusust enim mõjutavad parameetrid, koostati teoreetilisi mudeleid vabatahtliku GNU Octave abil ning püüti leida valitud parameetrite kaudu hoone energiakasutuse optimeerimisvõimalusi. Andmete põhjal tehtud hoone analüüs võimaldas leida selliseid mustreid, mis numbritest otse ei olnud välja loetavad. Mustrite põhjal lineaarse regressiooni algoritmi kasutades modelleeriti ja ennustati hoone energiatõhusamat opereerimist.

Uurimise tulemusena leiti, et hoone järjepidev monitooring on energiakasutuse optimeerimise aluseks juhul kui neid andmeid ka analüüsitakse, andmete jälgimine ja esitamine peavad seejuures olema tehtud võimalikult lihtsaks. Sisekliima parameetrite analüüsist selgus, et hoones on kavandatust keskmiselt 1,5 kraadi soojem, kusjuures aasta trend on igakuiselt kasvanud 0,7 - 2,1 °C. Ventilatsioonisüsteem on liiga tiheda õhuvahetusega, sisekliima parameetrina mõõdetud CO₂ väärtus on vaadeldud perioodil olnud keskmiselt 434 ppm. Sisekliima parameetritest lähtuvalt on kavandatust kulunud 31% enam soojusenergiat ja 17% rohkem elektrienergiat. Fotoelektrilised päikesepaneelid on tootnud 8522 kWh, kattes sellega 14% elektrienergia vajadusest ja vaakuumkollektorid on sooja tarbevee osakaalu soojusenergia kulureal vähendanud 4495 kWh (27,9% vee soojendamiseks kulunud soojusenergiast). Tulemuste alusel koostatud teoreetiline mudel

andis soojusenergia säästuks kahekraadise sisetemperatuuri alandamise korral 7,9% (9294 kWh) ja elektrienergia säästuks 13,2% (7910 kWh), Kui siia juurde lisada päikese positiivne 14% mõju, ja elektrisüsteemi hinnarvestust tunnipõhiselt võiks reaalsed kulutused elektrienergiale potentsiaalselt väheneda vähemalt projekteeritud tasemele (-29%). Modelleeritud parameetrite koosmõju antud uurimistöös raames ei uuritud.

Eakate kodu haldamine ja monitooring on oma põhitasemelt, võimaldades seadmete tööd vaid jälgida ja need kolmandatele osapooltele edastada, täna jäänud ebapiisavaks meetmeks hoone energiatõhusust. Hoone tuleks monitoorimise põhitasemelt üle viia vähemalt edasijõudnute tasemele ja rakendada optimeerimise mehhanisme automatiseeritult. Töös läbi viidud elektrienergia kasutamise analüüs näitas, et eakate kodul on mõtet elektrisüsteemi üleviimsel tunnipõhisele hinnaarvstusele (1. jaanuarist 2017), kuna eakate kodu elektrienergia tarbimise tipud langevad elektribörsi madalate hindadega kokku.

Energiakasutuse optimeerimiseks on vaja piisavalt suurt arvu uuringuid mingite järelduste tegemiseks. Kogemuslikkuse (erinevate projektide põhised uuringud) ja võrdluse tulemusel käesoleva uurimistöös raames valminud teoreetiline mudel ei kindlusta vajalikku energiatõhusust. Mudelit tuleb katsetada, täiustada ning valmistada energiatõhusustamise algoritmi toetudes ja uurides põhjalikumalt samalaadseid lahendusi.

Hoonete monitooringul pole mõtet kui andmepõhist analüüsi ei tehta. Efektiivne energiakasutus, täpsed mõõtmistulemused ja tulemustepõhine optimeerimine on energiatõhususe alus.

Eesti riik peaks keskenduma tehnoloogilise valdkonna (mõõteseadmed, mõõtetarkvara, taastuvad energiaallikad jt) arendamisele, sest väikeriigina suudame reageerida turu muutustele operatiivselt ning majanduskasu on valdkonna arenguprognose silmas pidades väga suur.

ENERGY EFFICIENCY IN VÄÄTSA RETIREMENT HOME – THE ROLE OF MONITORING IN ANALYSIS AND PROPOSED MODEL FOR ENERGY OPTIMIZATION

SUMMARY

Household energy efficiency is a hot topic worldwide. Building monitoring system as an energy efficiency measure is becoming a necessary addition to the use of renewable energies in the energy optimization. If we know what we spend our energy on by monitoring the usage, then it's possible to react on it. The importance of the monitoring of the energy usage is a sign of rapid growth in the data analysis.

The objective of this work is to focus on the importance of building monitoring system and thereby to identify how to evaluate performance of a building in operation. How to find energy efficiency shortcomings of the recorded data. It also aims to present guidelines based on a theoretical model.

To achieve the results, the data was examined and plotted, which gave indications for the patterns of behavior of the building. By analyzing the data, a selection was made to pick the parameters that affect the efficiency the most. GNU Octave was the software used for building the model and to find possibilities to optimize the energy consumption. The analysis of the data allowed to find such patterns, which were not obvious by looking at the logged values alone. Using the linear regression algorithm on the values a model was built to optimize the energy efficiency.

Indoor climate parameters analysis showed that the building has been operating at 1,5 degrees warmer temperature than normal. The trend has been growing by month from 0,7 to 2,1 degrees by Celsius. The measured values of CO₂ in the period of observation has been 434 ppm and too much ventilation took place, which caused excessively high energy consumption. As a result the building's heating energy consumption was 31% more than designed. The same number for electric energy was 17% higher. 14% of the electric energy and 28% of water heating needs were covered by solar power. The composed model for optimization was able to lower the energy needs by 10,2%. This work did not delve into additive results of the modelled parameters.

The administration and monitoring of the retirement home has not been enough to make it more energy efficient, by just observing and providing access to third party members. Bare monitoring should be replaced by more advanced levels of operation and to use the optimization mechanisms automatically. The analysis of the electric energy usage showed that it would make sense for the retirement home to start using pricing per hour (available from January 1. 2017) as the peak periods of the usage match the lowest points of the electric stock prices.

To optimize the energy consumption, a large amount of research is needed to make conclusions. The experience based on various researches and comparisons of the results of the built theoretical model does not ensure the wanted levels of energy efficiency. The model needs to be tested and it needs to be improved by examining related solutions in order to build an algorithm for energy efficiency.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Kalamees, T** (2012). Ülevaade olulisematest hoonete energiatõhususe alastest õigusaktidest Eestis. *Tartu Teadusparki täiendkoolituse programm teemal: „Kaasaegsed suundumused ja poliitikad hoonete energiatõhususe valdkonnas.“* <http://www.teaduspark.ee/UserFiles/Projektid/empower/040412Kalamees.pdf> (08.06.2015)
2. Energy Efficiency. *European Commission*. http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency_(08.06.2015).
3. Euroopa parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2010/31/EL hoonete energiatõhususe kohta. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=celex:32010L0031> (08.06.2015).
4. **Kurnitski, J., Thalfeldt, M., Kalamees, T., Voll, H., Uutar, A., Rosin, A.** (2013). Madal- ja liginullenergiahooned : Büroohoonete põhilahendused eskiis- ja eelprojektis. Tallinna Tehnikaülikooli ja Riigi Kinnisvara Aktsiaseltsi juhendmaterjal. http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/c/cd/Madal_ja_liginullenergiahooned.pdf(08.06.2015).
5. Energy Efficiency Trends and Policies in the Household and Tertiary Sectors (2015). An Analysis Based on the ODYSSEE and MURE Databases. Intelligent Energy Europe Programme of the European Union. [on-line] <http://www.odyssee-mure.eu/publications/br/energy-efficiency-trends-policies-buildings.pdf> (08.06.2015).
6. **van de Bree, A., Manteuffel, B., Ramaekers, L., Offermann, M.** (2014). Role of Building Automation related to Renewable Energy in nZEB's. European Copper Institute Project Report. [on-line] http://www.leonardo-energy.org/sites/leonardo-energy/files/documents-and-links/buin113782_report_final_0.pdf (08.06.2015).
7. **Sarmet, M.** Hoonete energiatõhususest. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi ettekanne. [on-line] http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/c/c1/Regul_okofest_Polva.pdf(27.11.2015).
8. Eesti energiamajanduse arengukava aastani 2030. (ENMAK2030+) (2014). *Vabariigi Valitsuse korralduse eelnõu nr 17-1/12-00467/080*. <http://eelvoud.valitsus.ee/main#HueUtFJs> (27.11.2015).
9. **Deng, S., Wang, R.Z., Dai, Y.J.** (2014). How to evaluate performance of net zero energy building - A literature research. – *ScienceDirect*. Energy No. 71, pp. 1–16.
10. Taastuenergia Eestis. *Eesti Taastuenergia Koda*. <http://www.taastuenergeetika.ee/eesti-statistika/> (30.04.2016).
11. **Peng, C., Huang, L, Liu, J., Huang, Y.** (2013). Energy performance evaluation of a marketable net-zero-energy house: Solark I at Solar Decathlon China 2013. – *ScienceDirect*. Renewable Energy No. 81, pp. 136–149.
12. **Kurnitski, J.** (2015). Liginullenergiahooned täna ja homme. Artiklite kogumik. http://www.etag.ee/wp-content/uploads/2015/08/Kogumik_Liginullenergiahooned-t%C3%A4na-ja-homme.pdf (27.11.2015).
13. **Berggren, B., Hall, M., Wall, M.** (2013). LCE analysis of buildings – Taking the step towards Net Zero Energy Buildings – *ScienceDirect*. Energy and Buildings No. 62, pp. 381–391.

14. **Nuemann, C., Jacob, B.** Results of the project: Building EQ Tools and methods for linking EPBD and continuous commissioning. *European Commission in the programme Intelligent Energy Europe (IEE)*. 2010. http://www.buildingeq-online.net/fileadmin/user_upload/Results/BEQ_publishable_results_report_final_rev_100624.pdf (08.06.2015).
15. Energiatõhususe miinimumnõuded. Vabariigi valitsuse määrus nr. 55. <https://www.riigiteataja.ee/akt/105062015015> (27.11.2015).
16. **Tronchin, L., Manfren, M.** (2015). Multi-scale analysis and optimization on building energy performance – Lessons learned from case studies. – *Procedia Engineering* No. 118, pp. 563–572.
17. Rakvere Targa Maja kompetentsikeskuse testkeskkondade kujundamine ja energiaanalüüs liginullenergiahoone võimaluste hindamiseks. (2014). Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskond. Lõpparuanne http://www.rakveretarkmaja.ee/uploads/2/0/0/1/20014105/rtmk_testkeskkondade_kujundamine_ja_energiaanal%C3%BC%C3%BCs_liginullenergiahoone_v%C3%B5imaluste_hindamiseks.pdf (27.11.2015).
18. **Kapsalaki, M., Leal, V., Santamouris, M.** (2012). A methodology for economic efficient design of Net Zero Energy Buildings. – *ScienceDirect*. Energy and Buildings No. 55, pp. 765–778.
19. Energiatõhususe miinimumnõuete tõendamise ja selle kontrolli võimekuse tõstmine. Uuringu lühikokkuvõtte. https://riigikantselei.ee/sites/default/files/content-editors/TOF/TOF_strat_arendusprojektid/10_projekti_lyhikokkuvote.pdf (27.11.2015).
20. Taastuvenergia tasu elektritarbijale 2016. <http://elering.ee/taastuvenergia-tasu> (30.04.2016).
21. **Oja, T.** (14. jaanuar 2016). Nn taastuvenergiat oli rekordinvesteeringute aasta. – *Postimees*. <http://majandus24.postimees.ee/3469023/nn-taastuvenergiat-oli-rekordinvesteeringute-aasta> (30.04.2016).
22. **Bourrelle, J.S., Andersen, I., Gustavsen, A.** (2013). Energy payback: An attributional and environmentally focused approach to energy balance in net zero energy buildings. – *ScienceDirect*. Energy and Buildings No. 65, pp. 84–92.
23. **Teres-Zubiaga, J., Escuerdo, C., Garcia-Gafaro, C., Sala, J.M.** (2015). Methodology for evaluating the energy renovation effects on the thermal performance of social housing buildings: monitoring study and grey box model development – *Energy and Buildings, Accepted Manuscript* ref nr ENB 5915.
24. **Bourrelle, J.S.** (2014). Zero energy buildings and the rebound effect: A solution to the paradox of energy efficiency? – *ScienceDirect*. Energy and Buildings No. 84, pp. 633–640.
25. **Zavala, V., M.** (2011). Real-Time Optimization Strategies for Building Systems. Mathematics and Computer Science Division, *Argonne National Laboratory, USA* http://www.mcs.anl.gov/uploads/cels/papers/APT_70592_Zavala_Paper_071411.pdf (20.04.2016).
26. **Fitzgerald, M., Dwoskin, E.** (28.09.2014). Big Data Cuts Buildings' Energy Use. – *The Wall Street Journal. Journal Reports: Energy*. <http://www.wsj.com/articles/big-data-cuts-buildings-energy-use-1411937794> (27.11.2015).
27. Euroopa parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2012/27/EL <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/HTML/?uri=CELEX:32012L0027&from=EN> (08.06.2015).

28. World Energy Outlook 2015 Factsheet. Global energy trends to 2040. *International Energy Agency*.
http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2015/WEO2015_Factsheet_s.pdf (27.11.2015).
29. **Needo, A.** (2014). Hoone renoveerimisega saavutatud energiatõhususe analüüs. (Lõputöö). Tallinna Tehnikakõrgkooli ehitusteaduskond.
http://eprints.tktk.ee/825/1/Aire%20Needo_L%C3%B5put%C3%B6%C3%B6.pdf (20.04.2016).
30. **Vaabel, K.** (2013). Tallinna Mustamäe Gümnaasiumi energiatõhususe analüüs. (Magistitöö). Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskond.
http://ttu.ee/public/e/ehitusteaduskond/Instituudid/Keskkonnatehnika_instituut/Kroonika2012/Loputoo_naide_MUSTAMAE_GUMNAASIUMI_ENERGIATOHUSUSE_ANALUUS.pdf (20.04.2016).
31. **Smolin, I.** (2013). Hoonete energiaarvutused tarkvara EnergyPlus abil (Lõputöö). Tartu Ülikooli Viljandi Kultuuriakadeemia Rahvusliku ehituse õppekava.
http://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/31505/Smolin_Ivar_2013.pdf (20.04.2016).
32. **Thalfeldt, M., Pikas, E., Kurnitski, J., Voll, H.** (2013). Facade design principles for nearly zero energy buildings in a cold climate. – *ScienceDirect*. Energy and Buildings No. 67, pp. 309–321.
33. **Hatley, D.D., Meador, R.J., Katipamula, S., Bramley, M.R.** (2005). Energy Management and Control System: Desired Capabilities and Functionality – *Pacific Northwest National Laboratory Technical Report No. PNNL-15074* pp. 8–15.
http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-15074.pdf
34. Elektrilevi. <https://www.elektrilevi.ee/et/kauglugemine> (20.04.2016).
35. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 95/46/EÜ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX:31995L0046>
[http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency_\(08.06.2015\)](http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency_(08.06.2015)).
36. **Ehrhardt-Martinez, K.** (2010). Changing Habits, Lifestyles and Choices: The Behaviours that Drive Feedback-Induced Energy Savings. *University of Colorado Renewable and Sustainable Energy Institute No. 8-454*.
[http://web.stanford.edu/group/peec/cgi-bin/docs/behavior/research/Ehrhardt-Martinez%20ECEE%20Feedback%20Behaviors%208-454%20FINAL%20\(2\).pdf](http://web.stanford.edu/group/peec/cgi-bin/docs/behavior/research/Ehrhardt-Martinez%20ECEE%20Feedback%20Behaviors%208-454%20FINAL%20(2).pdf) (20.04.2016).
37. Modernising Building Energy Codes. (2013). International Energy Agency. [online]
<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/PolicyPathwaysModernisingBuildingEnergyCodes.pdf>
38. Maaameti kaardiserver. <http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGis> (20.04.2016).
39. U-Disain OÜ. Väätša eakate kodu arhitektuurne põhiprojekt nr UD-13-04. (2013). Väätša Vallavalitsus
40. OÜ BUENO Väätša eakate kodu konstruktiivne põhiprojekt (2013). Väätša Vallavalitsus
41. OÜ Nortes. Väätša eakate kodu elektripaigaldise põhiprojekt. Korrektuur A, nr. NO-02/10-11. (2013). Väätša Vallavalitsus
42. OÜ Nortes. Väätša eakate kodu automaatikapaigaldise põhiprojekt. Korrektuur A, nr. NO-02/10-11. (2013). Väätša Vallavalitsus
43. Projektide Agentuur OÜ. Väätša eakate kodu kütte põhiprojekt nr 13012K. (2013). Väätša Vallavalitsus

44. Projektide Agentuur OÜ. Väätsa eakate kodu VK põhiprojekt nr 13012VK. (2013). Väätsa Vallavalitsus
45. Projektide Agentuur OÜ. Väätsa eakate kodu ventilatsiooni põhiprojekt nr 13012V. (2013). Väätsa Vallavalitsus
46. GNU Octave tarkvara [*on-line*] <https://www.gnu.org/software/octave/>
47. **Rohusaar, J., Mägi, R., Masso, T., Talvik, I., Jaaniso, V., Otsmaa, V., Voltri, V., Loorits, K., Peipmann, T., Pukk, O., Õiger, K., Just, E., Just, A., Hartšuk, V.** (2012). Ehituskonstruktori käsiraamat. (3. tr.). Tallinn: Ehitame kirjastus. 577 lk
48. Kraadpäevad. Kredexi energiatõhususe suunised ja kraadpäevade tabelid. [*on-line*] <http://kredex.ee/energiatohususest/kraadpaevad-4/> (20.04.2016).
49. Nord Pool Spot elektribörs. [*on-line*] <http://www.nordpoolspot.com/> (30.04.2016).
50. **Hanafy, R., M.** (2012). Energy Efficient Management and Optimization Strategies in Office Buildings By implementing Simulation-based optimization control (Master Thesis). University of Kassel and Cairo University. [*on-line*] https://www.uni-kassel.de/eecs/fileadmin/datas/fb16/remena/theses/batch2/MasterThesis_Rana_Mohsen_Hanafy.pdf (20.04.2016).

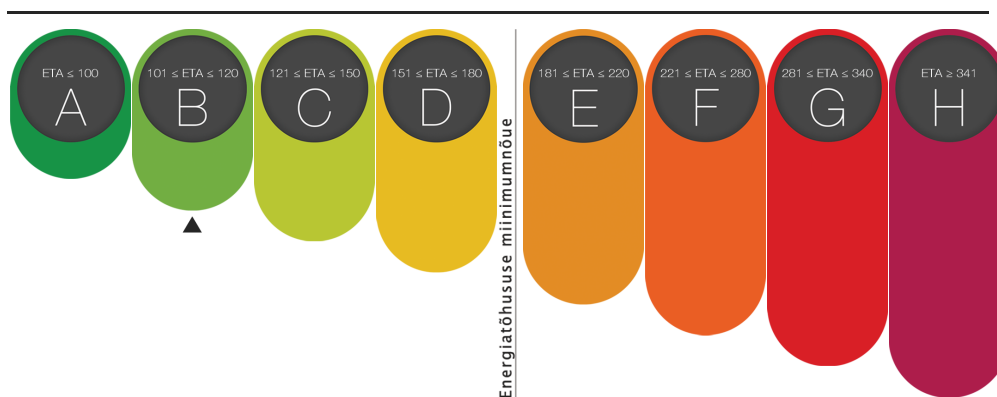
LISAD

Lisa 1. Väljastatud energiamärgis

HOONE ENERGIAMÄRGIS



Energiatõhususarv
106 kWh/m²·a



Energiamärgise nr:

1511566/00183

Address:

Järva maakond, Väätsa vald, Väätsa alevik, Türi tee 1

Ehitisregistri kood (www.ehr.ee):

120702559

Märgis kehtib kuni:

10.03.2025

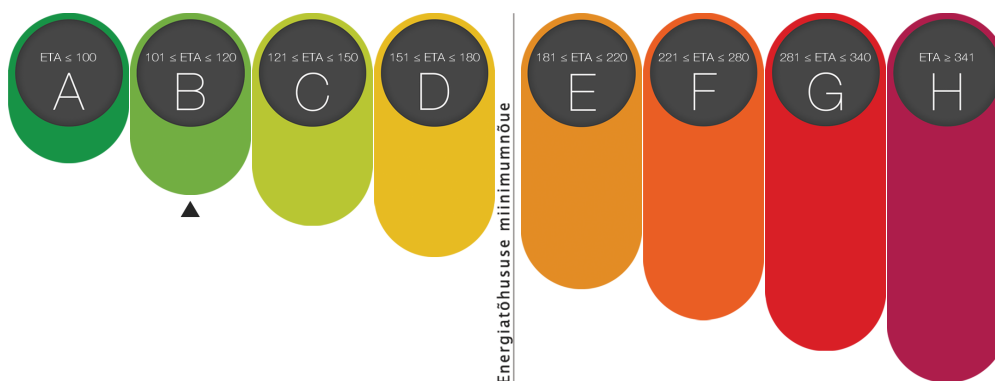
Lisa 1 järg

ENERGIAARVUTUSEL PÕHINEV ENERGIAMÄRGIS

Energiamärgise nr : 1511566/00183
 Hoone kategooria: elamu
 Hoone kasutamise otstarve: 11316 Üldhooldekodu
 Address: Järva maakond, Väätsa vald, Väätsa alevik, Türi tee 1
 Ehitisregistri kood: 120702559
 Ehitusaasta: 2014
 Köetav pind: 1327.5 m²
 Soojusvarustus: lokaalküte
 Energiaallikas: kütus, elekter, puitpellet

Tellija: U-Disain OÜ

Energiamärgise algandmete allikas: U-Disain OÜ poolt koostatud põhiprojekt.



Energiaarvutuse arv (ETA): 106 kWh/m²·a
 Märgise väljaandmise kuupäev: 11.03.2015
 Märgis kehtib kuni: 10.03.2025

Märgise väljaandja:

Äriühing/FIE: GECC Konsultatsioonid OÜ
 Registrikood: 11242048
 Vastutav spetsialist: Gery Einberg


Märgise väljaandja kinnitab, et projekteeritud/rekonstrueeritud hoone vastab energiaarvutuse miinimumnõuetele.

Hoone energiaarvutus

Energiaandja	TARNITUD ENERGIA		EKSPORDITUD ENERGIA, kWh/a	LOKAALSE TAASTUVENERGIA SÜSTEEM	ERIKASUTUS (tarnitud - eksporditud), kWh/(m ² ·a)
	elekter / kaugküte / kaugjahutus, kWh/a	TARNITUD KÜTUSED kogus/a			
elekter	36456				27,46
kütus: puitpellet [KG]		19588			67,88
ERIKASUTUS KOKKU, kWh/(m ² ·a):					95,34


Lisa 1 järg

1 (1)

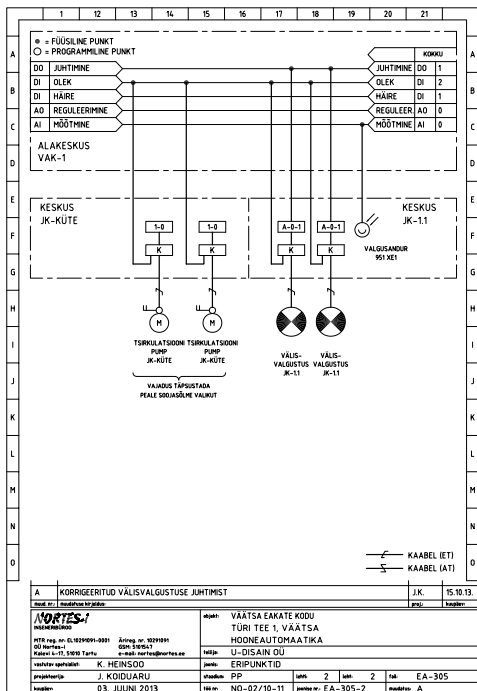
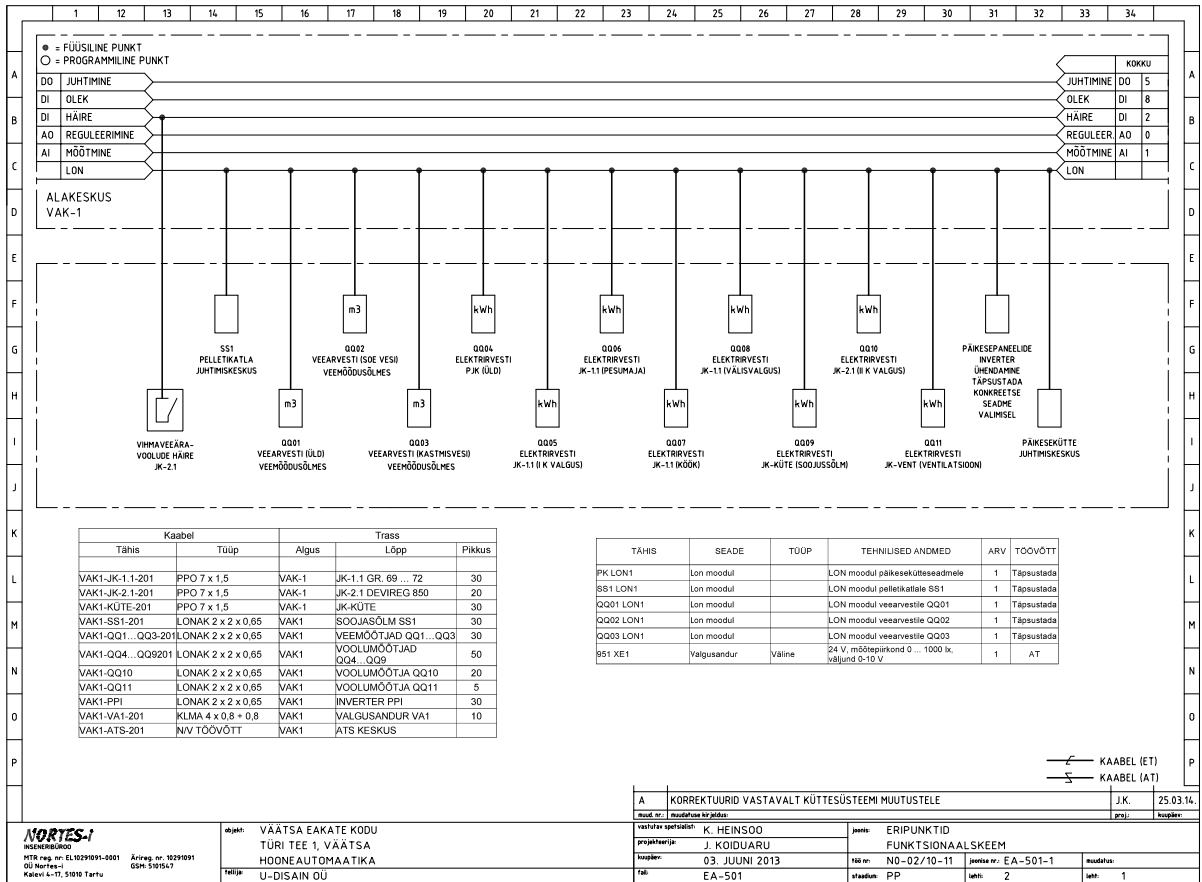
		HOONE ENERGIATARVE ENERGIAARVUTUSE LÄHTEANDMETE ESITAMINE			
Väätsa eakate kodu Türi tee 1, Väätsa, Järvamaa		Dokumendi No.	30814.1		
		Projekti No.	30814		
		Viimane muudatus	Kuupäev	Koostas/Kontrollis	
		Koostatud	12.02.2014	Gerli Enula/Gery Einberg	
Hoone kasutus otstarve Ehitusaasta Netopindala		11316 Üldhooldekodu Uusehitis 1 327,5 m ²			
Infiltratsioon q50		3,0 m ³ /(h·m ²)			
Hoone tarind		A m ²	U W/(m ² ·K)	U A W/K	%
Välissein		545,3	0,12	68,09	12,4
Katuslagi		641,2	0,09	60,40	11,0
Põrand pinnasel		638,7	0,09	59,39	10,8
Aknad		207,2	0,80	165,76	30,2
Välisüksed		16,0	1,00	15,88	2,9
Külmasillad				179,96	32,8
Aknad asimuudi järgi		A m ²	U W/(m ² ·K)	G-väärtus -	
Pöhi		32,6	0,80	0,34	
Kirre		0,0	0,00	0,00	
Ida		35,1	0,80	0,34	
Kagu		0,0	0,00	0,00	
Lõuna		102,0	0,80	0,34	
Edel		0,0	0,00	0,00	
Lääs		37,5	0,80	0,34	
Loe		0,0	0,00	0,00	
Katuseaknad		0,0	0,00	0,00	
		207,2			
Ventilatsioonisüsteem		Õhuvooluhulk sissep./väljaj. (m ³ /s)/(m ³ /s)	Süsteemi SFP kW/(m ³ /s)	Soojustagasti effektiivsus -	väljaviske min temp. °C
SV1		0,5 0,5	1,7	79	-5
SV2		1,0 1,0	1,7	79	-5
Ventilatsioonisüsteem		1,5 1,5	1,7		
Küttesüsteem		Soojusallika kasutegur	Jaot. ja väljas. kasutegur	Kütteperioodi ¹ kes.soojustegur	Abiseadmete elekt ² W
Ruumide küte		-	-	-	0
Soe vesi		1,00	0,97		0
		1,00	1,00		0
		¹ esitatakse soojuspump süsteemide korral			
		² puudub, kui esitatakse soojuspumpsüsteemi koosseisus			
Jahutussüsteem		Jahutusperioodi keskmine jahutustegur, -			
		-			
Soe tarbevesi		m ³ /(m ² ·a)	kogu m ³ /a		
		0,515	684		
Vabasoojused		Inimesed W/m ²	Seadmed W/m ²	Valgusuts W/m ²	Kasutusaste -
Majutushoone		4	1	8	0,5
Kuupäev		Nimi		Allkiri	

Lisa 1 järg

1 (1)

		HOONE ENERGIATARVE ENERGIAARVUTUSTE TULEMUSTE ESITAMINE			
Väätsa eakate kodu Türi tee 1, Väätsa, Järvamaa		Dokumendi No.	30814.2		
		Projekti No.	30814		
		Viimane muudatus	12.02.2014	Kuupäev	Koostas/Kontrollis
		Koostatud	12.02.2014		Gerli Enula/Gery Einberg
Hoone kasutus otstarve	11316 Üldhooldekodu				
Ehitusaasta	Uusehitis				
Netopind	1 327,5	m ²			
Energiaühik	105,8	kWh/(m²,a) (kWh netopindala ühiku kohta)			
Energiaühikute kokkuvõte	Tarnitud energia	Primaar energia kaalumistegur	Kaalutud energia kasutus		
	kWh/a	-	kWh/a	kWh/(m²,a)	
Elekter	36 456	2,00	72 912	55	
Kaugküte	0	0,90	0	0	
Kaugjahutus	0	0,40	0	0	
Taastuvkütused	90 104	0,75	67 578	51	
Fossiilsed kütused	0	1,00	0	0	
	0	0,00	0	0	
Kokku	126 560	5,0	140 491	106	
Taastuenergia	kWh/a	kWh/(m²,a)			
Elekter päikesest	8 003	6			
Soojusenergia päikesest	0	0			
Elekter tuulest	0	0			
Soojusallika soojusenergia võetud soojuspumpa	0	0			
Hoone tehnosüsteemide energia kasutus	Elekter kWh/(m²,a)	Soojus kWh/(m²,a)	Jahutus kWh/(m²,a)		
Küttesüsteem	-				
Ruumide küte ¹	0,0	0,0			
Ventilatsiooniõhu soojendamine	0,0	0,0			
Tarbevee soojendamine	0,0	0,0			
Ventilatsioonisüsteem	0,0	-			
Jahutussüsteem	0,0	0,0	0,0		
Seadmed ja valgustus	0,0	-			
Kokku	0,0	0,0	0,0		
¹ ruumis soendatava sissepuhkeõhu või asendusõhu soendamine kuulub ruumide kütte juurde					
Netoenergiavajadus	kWh/a	kWh/(m²,a)			
Ruumide küte ²	43 298	32,6			
Ventilatsiooniõhu soojendamine ³	6 981	5,3			
Tarbevee soojendamine	39 825	30,0			
Jahutus	0	0,0			
² sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojenemist ruumis					
³ arvutada koos soojustagastusega					
Energia vabasoojusest	kWh/a	kWh/(m²,a)			
Päikesekiirgus	40 112	30,2			
Inimesed	21 389	16,1			
Seadmed	3 767	2,8			
Valgustus	21 371	16,1			
Arvutusprogrammi nimi ja versioon		RIUSKA 4.8.22			
Kuupäev	Nimi	Allkiri			

Lisa 2. Hooneautomaatika eripunktid



Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Julia Vizel,
sünniaeg 20.11.1977

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

Energiatõhusus Väätsa eakate kodu näitel – monitooringu roll energiatõhususe analüüsis ning optimeerimismudeli koostamine,

mille juhendajad on Jüri Org ja Martti-Jaan Miljan,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, _____
(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)