



Säästäminen omakotitalon energiaku- luissa

Kaksi näkökulmaa

Marko Vikstedt

Opinnäytetyö, AMK

Joulukuu 2023

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Vikstedt, Marko

Säästäminen omakotitalon energiakuluissa. Kaksi näkökulmaa.

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Joulukuu 2023**, 44 sivua.

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Tavoitteena oli tutkia omakotitalon energiansäästöön tähtääviä toimenpiteitä sekä niiden kustannustehokkuutta. Lisäksi pyrittiin arvioimaan aiemman tiedon perusteella kannattamattomia investointeja tai kokonaan uusia mahdollisuuksia säästöjen saamiseksi energiakuluissa.

Laskennassa käytettiin apuna omakotitalon sähkönkulutuksen tietoja, Nord Pool -sähköpörssin hintatietoja sekä muita täydentäviä tietoja, kuten ulkoilman lämpötilaa. Tutkitut aiheet voidaan jakaa kahteen kategoriaan, energiansäästöön tähtääviin sekä taloudelliseen säästöön tähtääviin aiheisiin. Energiansäästöön tähtäävät aiheet olivat ikkunoiden lisäeristys, sisälämpötilan laskeminen, lämpimän veden säästäminen sekä ilmastoinnin uusiminen. Taloudellisen säästön kategoriaan kuuluivat dieselgeneraattorin käyttö, sähköajoneuvon akuston käyttö sekä sähkösopimuksen edullisuuden arviointi.

Tulosten perusteella sisälämpötilan lasku on kannattavin säästötoimi, koska se on nopein toteuttaa, eikä se sisällä investointivaatimusta. Energiansäästöön tähtäävät toimet olivat investointeina tutkimuksen perusteella kannattavia ilmastoinnin uusimista lukuun ottamatta. Pelkästään taloudelliseen säästöön tähtäävillä toimilla saavutettiin rahallisia säästöjä sähkönkulutukseen liittyen, mutta ei investointikokonaisuutena. Rahaa säästyy energiankulutuksessa parhaiten siis säästämällä energiaa ja tulosten perusteella joistakin aiheista tarvittaisiin uutta tutkimusta.

Avainsanat (asiasanat)

Energiansäästö, Energiankulutus, omakotitalo, lämmöneristys, kaksisuuntainen lataus (V2G,V2H), Energia-
tehokkuusluokka, data-analyysi

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Liitteenä kuva energialaskurista lähtötietoineen sekä analysointiin käytetty R-koodi, yhteensä 10 sivua.

Vikstedt, Marko

Saving in energy costs of detached house. Two viewpoints.

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, December 2023, 44 pages.

Degree Programme in Electrical and Automation Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The main goal of this study was to find different methods of energy costs savings for a detached house through investment analysis. A further goal was to reexamine formerly non-profitable investments and to investigate new technological possibilities.

The data analysis made use of the house's energy consumption, Nord Pool market data and other applicable variables such as temperature. Savings were divided into two categories: energy- and cost- savings.

Methods for energy savings included: adding double glazing element to windows, lowering inside temperatures, conserving warm water, and making changes to the air conditioning system. Cost savings methods included using diesel generator, an electric vehicle (EV) battery and analysing electricity contracts.

The results showed that most efficient, and cheapest, option was to lower inside temperature. Energy saving was found to be more financially efficient than methods focused solely on cost saving.

Keywords/tags (subjects)

Energy saving, energy consumption, detached house, heat insulation, bidirectional charging (V2G, V2H), Energy Performance Class, data analysis

Miscellaneous (Confidential information)

Annexes include example of Energy Performance Class calculator and R-code of the analysis, total 10 pages.

Sisältö

Johdanto	3
1 Työn tavoitteiden määrittely ja tietoperusta	4
1.1 Kohteen tarkempi esittely.....	5
1.2 Lähdeaineiston ja tiedonhaun kuvaaminen.....	6
1.2.1 Sähkönkulutustiedot.....	7
1.2.2 Rakennuksen piirustukset.....	8
1.3 Energiankulutuksen teoreettinen arviointi ja keskeiset käsitteet	9
1.4 Rakennuksen laitteiden ja materiaalien tekninen käyttöikä	11
2 Tutkimusmenetelmien esittely ja energiankulutuksen laskeminen	12
2.1 Säästömahdollisuudet lämmityksessä	13
2.2 Sähkön tuottaminen itse dieselgeneraattorilla kalleimpien tuntien aikana	19
2.3 Sähköajoneuvon akuston käyttäminen tasaamaan huippukulutusta	20
2.4 Laitteiden vaihtamisen vaikutus energiankulutukseen	23
2.4.1 Lämpimän veden säästäminen - suihkukahvat	23
2.4.2 Ilmastoinnin parantaminen - ilmastointiyksikkö	25
2.5 Käyttäjälle edullisimman sähkösopimuksen selvittäminen	26
3 Keskeiset tulokset ja pohdinta	27
Lähteet	31
Liitteet	34
Liite 1. E-lukulaskuri lähtötietoineen	34
Liite 2. Aineiston muokkaamiseen ja analysointiin käytetty R-koodi	35
 Kuviot	
 Kuvio 1. Esimerkki sähkönkulutustietojen aineiston alkuperäisestä rakenteesta sekä muokatusta rakenteesta.	8
Kuvio 2. Pilkington Spectrum -ohjelmalla luotu arvio vanhan ikkunan rakenteesta.....	14
Kuvio 3. Pilkington spectrum -ohjelmalla laskettu uuden eristelasielementin rakenne.....	15
Kuvio 4. Ikkunan uusi rakenne, kun vaihdetaan vanha eristelasielementti uuteen.....	16
Kuvio 5. Ikkunan rakenne, jos uusi eristelasielementti asennettaisiin vanhan yksittäisen ulkolasin tilalle.....	16
Kuvio 6. Lämminvesivaraajan tehonkulutuksen trendit vanhoilla ja uusilla suihkukahvoilla, kuvakaappaus Metrel PowerView-ohjelmasta (muokattu).....	24

Taulukot

Taulukko 1. Rakennusten lämmityslaitteiden tehot ja kiukaan kanssa vuorottelevat tehot.....	6
Taulukko 2. Yksittäisten suurikulutuksisten laitteiden liityntätehot	6
Taulukko 3. Rakennuksen ikkunoiden koot ja tyypit	9
Taulukko 4. Ikkunoiden eri U-arvoilla ja eri sisälämpötiloilla vuodessa aiheutunut kustannus ikkunoiden lämpöhäviöistä.	17
Taulukko 5. Vuoden kalleimmat tunnit eri vuosina, kellonajan (ylimmät 5 riviä) mukaan järjestettynä sekä hinnan mukaan suuruusjärjestyksessä (alimmat 5 riviä) (kallein vasemmalla).	21
Taulukko 6. Saavutettavat säästöt vuodessa, kun käytetään sähköauton akkuun varastoitua energiaa kalleimman kulutuksen aikaan ja ladattaessa sitä halvimpien tuntien aikaan.....	22
Taulukko 7. Toimeksiantajan käyttöpainotetut keskihinnat sekä hintojen keskiarvot vuosittain (snt/kWh)	26

Johdanto

Epävarmuus energiamarkkinoilla ja meneillään oleva energiamuotojen murros ovat viime aikoina vaikuttaneet suuresti energian hintaan Suomen ja koko Euroopan alueella. Uhkana on myös energian riittävyys, kun esimerkiksi Venäjän tuontienergiasta on luovuttu (Ruusunen, J. 2022), Olki-
luoto 3:n ydinvoimalahanke on viivästynyt (Tanskanen J. & Koponen J., 2022) ja vanhoja hiilivoimaloita on suljettu viime vuosina (Mäntylä J-M, 2022).

Opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa mahdollisuuksia energiakustannusten pienentämiseen, ensisijaisesti energian säästämisen avulla sähkölämmitteisessä, jäähdyttämättömässä omakotitalossa. Opinnäytetyö on tyypiltään kehittämistutkimus, jossa energiankulutusaineiston perusteella pyritään vertailemaan vaihtoehtoja energian säästämiseksi.

Vaihtoehtoja energiakustannusten pienentämiseksi arvioidaan ensisijaisesti kustannusten ja säästettyjen säästöjen perusteella. Tutkituille vaihtoehdoille lasketaan investointien takaisinmaksuajat, jotta vaihtoehtojen vertailu olisi helpompaa. Energian säästämisen lisäksi tutkitaan myös vaihtoehtoisia tapoja säästöjen luomiseksi, esimerkiksi oman tuotannon tai käytön ajallisen hajauttamisen avulla.

Taloudellisen näkökulman lisäksi työssä pyritään ottamaan huomioon myös koneiden, laitteiden ja rakenteiden elinkaari, jolloin investoinneissa voidaan ennakoida mahdollisia laitteiden hajoamia tai kunnon heikentymistä. Keskimääräisen elinkaaren ylittyminen voi aiheuttaa yllättäviä ylimääräisiä kustannuksia esimerkiksi rikkoontumisten, mutta myös käytön vaatiman energian lisääntymisenä.

Työn toimeksiantaja on omakotitalon omistava yksityishenkilö. Tarkasteltava omakotitalo on otettu käyttöön vuonna 2009 ja se sijaitsee Keski-Suomessa. Työn tavoitteiden osalta toimeksiantaja ei ole rajoittanut tutkittavia asioita, mutta on asettanut toiveita, että mitä toivoisi työssä tutkittavan.

1 Työn tavoitteiden määrittely ja tietoperusta

Työssä käytetyistä lähteistä ja aineistoista suurin osa on suomalaisia, koska Suomen ilmasto-oloihin sopivissa energiansäästöratkaisuissa painotetaan lämmityksen ja eristävyysosuutta, kun taas lämpimämmissä olosuhteissa viilennysratkaisut voivat tuoda suurimmat säästöt. Erilaiset sallitut rakenneratkaisut on usein myös määritelty erilaisissa ohjeissa ("hyvä rakennustapa") sekä standardeissa, jotka usein on muokattu kansallisiksi säädöksiksi. Toisaalta kansallisiin säädöksiin ja lakeihin vaikutetaan esimerkiksi Euroopan unionin direktiivien avulla, joilla luodaan pohja kansalliselle lainsäädännölle.

Esimerkiksi Euroopan unionin rakennusten energiatehokkuusdirektiiviä ollaan päivittämässä ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Direktiiviin on viimeisimpänä hallintotasona oman kantansa antanut Euroopan unionin parlamentti (P9_TA(2023)0068 2023) ja nk. kolmikanta päätös saavutettu 7.12.2023 (Rakennusten energiatehokkuusdirektiivistä alustava sopu 2023). Joillakin direktiivissä esitetyillä energiatehokkuusvaatimuksilla voi olla suuriakin vaikutuksia kansalliseen lainsäädäntöön ja myös jo olemassa olevaan rakennuskantaan (Salakka & Pylyy n.d.). Tämän perusteella on tärkeää tuntea oman kiinteistön energiankulutus, sen vähentämismahdollisuudet sekä luoda suunnitelma energiatehokkuuden parantamiseksi.

Tarkasteltavana kohteena on vuonna 2009 valmistunut omakotitalo, jonka pääasiallinen lämmitysmuoto on suorasähkölämmitys. Toimeksiantajan kanssa käytiin aloituspalaverissa lävitse toiveita työn tavoitteista ja menetelmistä. Tärkeimpänä tavoitteena on selvittää, miten tarkasteltavan kiinteistön energiankulutusta voidaan pienentää, erityisesti käytetyn, tässä tapauksessa ostetun sähkön osalta. Tavoitteena on lisäksi päivittää tietämystä eri vaihtoehtojen kannattavuudesta ottaen huomioon muuttunut maailmantilanne ja muutokset energiateknologian ratkaisuissa. Aloituspalaverissa sovittiin, että mitään ideoita ei työn alussa suljeta pois ja aikaisemmin taloudellisesti kannattamattomia ideoita arvioidaan uudelleen uusien energian hintojen mukaisesti, eri hintatasoilla laskien.

Aurinkoenergian keräämistä ei käsitellä, koska sitä on käsitelty useissa muissa opinnäytetöissä ja tulokset ovat edelleen pääosin päteviä, vaikka esimerkiksi aurinkopaneelien hinnat ovatkin laskeutuneet. Kiinteistöautomaatiojärjestelmät rajattiin myös tutkimuksesta pois, koska esiselvityksessä aihe todettiin niin laajaksi, että siitä saisi tehtyä oman opinnäytetyön.

Ohjeita energian säästämiseksi on saatavissa esimerkiksi Motivan verkkosivuilla. Motiva on valti-
onyhtiö, joka auttaa eri toimijoita kestäväen kehityksen mukaisessa toiminnassa, tuottamalla esi-
merkiksi tietoa ja palveluja päätöksenteon tueksi (Motiva – valtion kestäväen kehityksen yhtiö
2023). Motivan verkkosivuilla on esitetty esimerkkejä eri-ikäisten pientalojen mahdollisista ener-
giaremonteista. Energiaremonttien esimerkeissä, ja myös yleisemmin Motivan verkkosivuilla, on
vahvasti painotettu nykytilanteen tuntemisen (mm. lakisääteinen energiatodistus) sekä ammatti-
taitoisen suunnittelun tärkeyttä ennen remontin kilpailutusta ja toteutusta.

2000-luvulla rakennetun sähkölämmitteisen pientalon esimerkissä on parannukset jaettu useille
vuosille eri remonteiksi. Ensimmäisenä esimerkissä toteutetaan ilmanvaihtoon kohdistuvia toi-
menpiteitä, muun muassa ilmalämpöpumpun hankintaa ja ilmanvaihtokoneen uusimista. Myö-
hempinä ajankohtina energiaremonteissa keskitytään rakennuksen eristävyiden parantamiseen
esimerkiksi ikkunoiden ja ovien vaihtamisella sekä pidemmän ajan päästä myös seinien lisäeristyk-
sellä. (2000-luvun sähkölämmitteisen pientalon energiaremontti 2022.)

1.1 Kohteen tarkempi esittely

Rakennuksen asuinosa, sisältäen teknisen tilan, lämmitetty pinta-ala on 140,7 m². Lisäksi raken-
nuksen yhteydestä autokatoksesta löytyy 13 m² lämmitetty varasto. Tontilla on myös erillinen läm-
mitetty 8,5 m² talousrakennus, jota käytetään varastona. Lämmitysmuoto asuinosaassa on lattia-
lämmitys suoralla sähköllä. Asuinosaassa on lattialämmityksen lisäksi myös puuhella sekä leivinuuni,
jotka sijaitsevat rakennuksen keskellä. Molempia varastoja lämmitetään öljytäytteisillä sähköpat-
tereilla. Osa lämmityksestä ja kiuas on kytketty vuorottelevasti, eli molemmat eivät ole päällä sa-
manaikaisesti. Kiinteistön lämmityslaitteiden tehot ja kiukaan kanssa vuorottelevat tehot on esi-
tetty Taulukossa 1. Taulukossa on myös laskettu lämmityslaitteiden kokonaisteho sekä
vuorottelevan tehon suuruus, joka vastaa suuruusluokaltaan kiukaan tehoa. Lämmityksen lisäksi
suuria sähkökuluttajia ovat esimerkiksi sähkökiuas, lämminvesivaraaja sekä koneellinen ilman-
vaihto. Toisaalta lämmitys on päällä huomattavasti pidemmän aikaa vuodessa kuin muut laitteet.
Taulukossa 2 on esitetty yksittäisten laitteiden liityntätehoja.

Taulukko 1. Rakennusten lämmityslaitteiden tehot ja kiukaan kanssa vuorottelevat tehot

Lämmitystehot		
Huone	Teho (W)	Vuorottelu
MH1	1220	x
MH2	1220	x
MH3	1100	x
MH4	1220	
WC1	200	
WC2	135	
ET	800	x
TK	600	
K+R	2135	
OH	2295	x
KHH	1500	
PH+LH	800	
VAR (AK)	1000	
VAR (TR)	700	
	14925	6635

Taulukko 2. Yksittäisten suurikulutuksisten laitteiden liityntätehot

Yksittäiset kodinkoneet	
Laite	Teho (W)
Kiuas	6000
Lämminvesivar.	3000
Ilmanvaiht.	663
JK+P (keit.)	153
JK+P (var.)	241
Astianpesuk.	1700-2000
Kahvinkeitin	1520
Pyykinpesukone	2000
Vedenkeitin	1500-1785
Liesi	9750

1.2 Lähdeaineiston ja tiedonhaun kuvaaminen

Toimeksiantaja on toimittanut analysoitavaksi tiedot kiinteistön sähkönkulutuksesta vuodesta 2018 vuoden 2022 loppuun asti. Lisäksi toimeksiantaja on toimittanut erikseen mitatut tulokset ilmanvaihdon ja lämminvesivaraajan sähkön kulutuksesta kahden viikon ajalta lokakuussa 2022. Lähdeaineisto sisältää myös rakennuksen pohja- sekä julkisivupiirustukset, ryhmäkeskuskaavion

sekä tiedot kiinteistä kodinkoneista. Toimeksiantaja on laskenut valmiiksi lämmöneristeiden eristävydestä kertovat U-arvot, jotka on esitetty toimitetuissa dokumenteissa lämmöneristeiden rakenteiden kanssa. Dokumentteja ei esitetä opinnäytetyön liitteenä, koska niiden avulla on mahdollista yksilöidä toimeksiantaja. Tiedekirjallisuuden etsimiseen käytettiin Finna- ja Google Scholar -palveluita. Yleisen näkökulman saamiseksi tietoa etsittiin myös Googlen vakiohakukoneella.

1.2.1 Sähkökulutustiedot

Sähkökulutustiedot on toimitettu viitenä Excel-taulukkona, joissa tarkasteltavat vuodet on eritelty vuosittain omiin taulukoihinsa. Sähkökulutus on esitetty taulukoissa tunnin tarkkuudella, sähkökulutuksen lukeman ollessa kyseisen tunnin keskiarvo. Taulukot sisälsivät myös tiedon kyseisen päivän keskilämpötilasta sekä oliko kulutus yö- vai päivä sähköä. Taulukot toimeksiantaja oli tulostanut Elenian Aina -palvelusta, josta Elenian sähköverkon alueella sijaitseva kuluttaja voi käydä tutkimassa omaa sähkökulutustaan (<https://idm.asiakas.elenia.fi/>).

Taulukoiden analysoinnin helpottamiseksi taulukon sarakkeiden ”Keskiteho, päivä” ja ”Keskiteho, yö” tyhjät solut täydennettiin nolilla ja taulukkoon lisättiin binäärinen muuttuja kertomaan, että onko kyseessä yö- vai päivä sähkö. Taulukon ”Lämpötila” sarake täydennettiin sisältämään tunti-kohtaiset keskilämpötilat päiväkohtaisten keskilämpötilojen sijaan. Tarvittavat tiedot lämpötiloista saatiin Ilmatieteenlaitoksen Havaintojen lataus -palvelusta (Jyväskylä lentoasema (2018–2022)) ja oikea mittauspaikka löydettiin vertaamalla päiväkohtaisia keskiarvoja taulukon ja Havaintojen lataus -palvelun tietojen välillä. Aineistoon lisättiin käsittelyn helpottamiseksi myös apumuuttujat seq sekä kellonaika. Esimerkki taulukon alkuperäisestä rakenteesta sekä muokatusta rakenteesta on esitetty Kuviossa 1.

Ladattuja lämpötilatietoja muokattiin täydentämällä puuttuvat havainnot aineistosta. Täydentäminen tehtiin syöttämällä puuttuvan arvon tilalle viereisten arvojen keskiarvo pyöristettynä yhden desimaalin tarkkuuteen. Tapauksessa, jossa useampi peräkkäinen arvo puuttui, jaettiin olemassa olevien lämpötilojen väli tasavälein puuttuvien arvojen määrällä ja estimoitiin puuttuvia arvoja lineaarisesti tällä välillä. Puuttuvan tiedon täydentäminen näillä tavoilla voidaan olettaa antavan riittävän tarkan kuvan lämpötilasta, koska lämpötilan vaihtelun voidaan olettaa lyhyen ajan sisällä olevan pientä ja puuttuvia havaintoja oli vähän.

	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E	F	G	H
1	Aikaväli	Keskiteho, päivä	Keskiteho, yö	Keskiteho	Lämpötila	1	Aikaväli	Keskiteho.pä	Keskiteho.yö	Keskiteho	Lämpötila	seq	yötieto	kellonaika
2	1.1. 00:00:00		1,81	1,81	-1,6	2	1.1. 00:00:00	0	1,81	1,81	-2	1	1	0
3	1.1. 01:00:00		3,61	3,61		3	1.1. 01:00:00	0	3,61	3,61	-1,8	2	1	1
4	1.1. 02:00:00		2,05	2,05		4	1.1. 02:00:00	0	2,05	2,05	-1,6	3	1	2
5	1.1. 03:00:00		2,56	2,56		5	1.1. 03:00:00	0	2,56	2,56	-1,7	4	1	3
6	1.1. 04:00:00		3,22	3,22		6	1.1. 04:00:00	0	3,22	3,22	-1,8	5	1	4
7	1.1. 05:00:00		1,68	1,68		7	1.1. 05:00:00	0	1,68	1,68	-1,9	6	1	5
8	1.1. 06:00:00		3,05	3,05		8	1.1. 06:00:00	0	3,05	3,05	-2	7	1	6
9	1.1. 07:00:00	3,23		3,23		9	1.1. 07:00:00	3,23	0	3,23	-2	8	0	7
10	1.1. 08:00:00	2,07		2,07		10	1.1. 08:00:00	2,07	0	2,07	-1,9	9	0	8
11	1.1. 09:00:00	1,84		1,84		11	1.1. 09:00:00	1,84	0	1,84	-1,9	10	0	9
12	1.1. 10:00:00	3,49		3,49		12	1.1. 10:00:00	3,49	0	3,49	-1,8	11	0	10
13	1.1. 11:00:00	2,35		2,35		13	1.1. 11:00:00	2,35	0	2,35	-1,8	12	0	11
14	1.1. 12:00:00	2,58		2,58		14	1.1. 12:00:00	2,58	0	2,58	-1,7	13	0	12
15	1.1. 13:00:00	2,12		2,12		15	1.1. 13:00:00	2,12	0	2,12	-1,7	14	0	13
16	1.1. 14:00:00	2,24		2,24		16	1.1. 14:00:00	2,24	0	2,24	-1,6	15	0	14
17	1.1. 15:00:00	4,03		4,03		17	1.1. 15:00:00	4,03	0	4,03	-1,5	16	0	15
18	1.1. 16:00:00	4,06		4,06		18	1.1. 16:00:00	4,06	0	4,06	-1,4	17	0	16
19	1.1. 17:00:00	5,77		5,77		19	1.1. 17:00:00	5,77	0	5,77	-1,3	18	0	17
20	1.1. 18:00:00	9,3		9,3		20	1.1. 18:00:00	9,3	0	9,3	-1,2	19	0	18
21	1.1. 19:00:00	8,05		8,05		21	1.1. 19:00:00	8,05	0	8,05	-1,1	20	0	19
22	1.1. 20:00:00	5,05		5,05		22	1.1. 20:00:00	5,05	0	5,05	-1	21	0	20
23	1.1. 21:00:00	2,18		2,18		23	1.1. 21:00:00	2,18	0	2,18	-1	22	0	21
24	1.1. 22:00:00		1,39	1,39		24	1.1. 22:00:00	0	1,39	1,39	-1,1	23	1	22
25	1.1. 23:00:00		0,78	0,78		25	1.1. 23:00:00	0	0,78	0,78	-1,1	24	1	23
26	2.1. 00:00:00		4,07	4,07	-0,7	26	2.1. 00:00:00	0	4,07	4,07	-1	25	1	0

Kuvio 1. Esimerkki sähkönkulutustietojen aineiston alkuperäisestä rakenteesta sekä muokatusta rakenteesta.

1.2.2 Rakennuksen piirustukset

Rakennuksen piirustuksista saadaan selville energiankulutuksen arviointiin käytettävien yhtälöiden muuttujien arvoja. Muuttujia ovat muun muassa rakennuksen tilavuus ja seinäpinta-ala sekä ikkunoiden pinta-ala. Rakennuspiirustukset sisältävät myös ryhmäkeskuskaavion, jonka perusteella voidaan todeta esimerkiksi kiukaan kanssa vuorottelevat (lämmitys)ryhmät (Taulukko 1).

Piirustusten perusteella asuinrakennuksen ulkoseinien eristävä rakenne on toteutettu mineraalivillalla sekä kuitulevyllä. Mineraalivillakerroksen paksuus on 198 mm ja kerroksessa kulkee pystykooraus. Mineraalivillakerroksen ulkopuolella on 25 mm paksu kuitulevy (tuulensuojalevy). Autokatoksessa sijaitsevan varaston ulkoseinän rakenne on muuten sama, mutta mineraalivillakerroksen paksuus on 148 mm. Talousrakennuksen seinien eristekerroksessa on sama 25 mm kuitulevy ulkopuolella, mutta sisäpuolella on käytetty 100 mm vahvuista puhallusvillakerrosta.

Rakennusten ikkunoiden koko on merkitty ikkunakohtaisesti rakennuksen pohjapiirustukseen. Ikkunoiden koot ja -tyyppitarkenteet on koostettu huonekohtaisesti Taulukkoon 3. Ikkunat, joiden tyyppitarkenne alkaa B-kirjaimella ovat kaksiosaisia ikkunoita, T-kirjaimella alkavat yksiosaisia, E-kirjaimella alkava on kolmeosainen. Tarkenteessa oleva kirjain O, V tai A kertoo ikkunan kätsyyden tai sen, millä puolella saranat tai aukeava osa ikkunasta on. Tarkenteen lopussa lukeva TL kertoo

ikkunan olevan turvalasia. Lopussa oleville E- tai I-kirjaimelle ei löydetty selitystä ja ikkunoiden tyyppitarkenteissa saattaa esiintyä valmistajakohtaisia merkintäeroja.

Taulukko 3. Rakennuksen ikkunoiden koot ja tyypit

Ikkunat		
Huone	koko	tarkenne
MH1	14x14	BO-E
MH2	14x14	BO-E
MH2	8x14	TIO-E
MH3	14x14	BO-E
MH3	8x14	TIV-E
MH4	14x14	BO-E
WC1	8x6	TIV-I
VH1	5x6	TIV
K+R	17x14	E4V/O
K+R	5x12	TIO-E
OH	5x16	TIO-E TL
OH	11x16	TIO-E TL
OH	11x16	TIO-E TL
OH	11x16	TIO-E TL
KHH	11x12	BO-E
LH	8x6	SK/TIV-I
VAR (AK)	11x4	TIA-E
VAR (TR)	9x9	

1.3 Energiankulutuksen teoreettinen arviointi ja keskeiset käsitteet

Energiankulutuksen teoreettiseen arviontiin voidaan käyttää Ympäristöministeriön julkaisemaa Suomen rakentamismääräyskokoelmaan kuuluvaa teosta ”Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, 2018”. Jatkossa työssä sanalla ”ohje” viitataan tähän dokumenttiin, ellei toisin mainita. Ohje on korvannut aikaisemman ohjeen ”D5 (2012) Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta” (Energiatehokkuus 2017, 2). Ohjeessa esitetty laskentamenetelmä rakennuksen energiankulutukselle ottaa huomioon oleellimmat tekijät Suomen olosuhteissa. Pohjana ohjeen laskentamenetelmille on käytetty standardia SFS-EN 13790. (Mts. 13.)

Rakennuksen energiankulutuksella tarkoitetaan energiamäärää, joka kuluu vuodessa rakennuksen lämmitykseen, jäähdytykseen ja sähkölaitteisiin. Kulutettuun energiamäärään ei lasketa mukaan

mahdollisia kiinteistökohtaisia tai kiinteistön ulkopuolisia energiantuotannon häviöitä. Rakennuksen energiankulutusta merkitään muuttujalla RAK_{ek} ja yksikkönä on kWh/m²a eli kilowattituntia neliometriä kohden vuodessa. (Mts. 16.) Laskentakaava rakennuksen energiankulutukselle on Ympäristöministeriön ohjeen (Mts. 16) mukaisesti:

$$RAK_{ek} = (Q_{lämmitys,tilat} + Q_{lämmitys,iv} + Q_{lämmitys,lkv} + Q_{jk} + W_{tilat} + W_{ilmanvaihto} + W_{lkv,pumppu} + W_{jäähd,apu} + W_{kuluttajalaitteet} + W_{valaistus})/A_{netto} \quad (1)$$

, jossa:

RAK_{ek}	rakennuksen energiankulutus, kWh/m ² a
$Q_{lämmitys,tilat}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{lämmitys,iv}$	ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{lämmitys,lkv}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh/a
Q_{jk}	jäähdytysjärjestelmällä tuotettu jäähdytysenergia, kWh/a
W_{tilat}	lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{ilmanvaihto}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{lkv,pumppu}$	lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{jäähd,apu}$	jäähdytysjärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{kuluttajalaitteet}$	kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{valaistus}$	valaistuksen sähköenergian kulutus, kWh/a
A_{netto}	rakennuksen lämmitetty nettoala, m ²

Kaavassa (1) esitetyt Q ja W muuttujat riippuvat toisaalta useista eri tekijöistä (ks. Energiatekniikka 2017), joita ei ole oleellista avata erikseen kaavamuodossa tässä raportissa.

Tilastokeskuksen (Asumisen energiankulutus 2021) mukaan Suomessa asumisen kokonaisenergiankulutuksesta noin kaksi kolmasosaa kuluu lämmitykseen käytettynä energiana. Tässä luvussa ei ole eritelty asumismuotoja. Toisaalta Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuksen ARA:n (Pientalon energiankulutus ja päästöt 2016) mukaan pientaloissa, jollainen tarkasteltava kohdekin on, asumisen energiankulutuksesta noin puolet kuluu lämmitykseen. Lämmitysenergian osuus kokonaisenergiasta ja sen tarpeesta kasvaa pohjoisemmaksi siirryttäessä. Molemmissa esitetyissä arvioissa mukana ovat kaikki mahdolliset lämmitysmuodot, ei pelkästään sähkölämmitys.

Koska lämmityksen osuus rakennuksen energiankulutuksesta voidaan näillä perusteilla olettaa kuitenkin suurimmaksi yksittäiseksi kulutukseksi, voidaan myös ajatella, että lämmityksen tehostaminen auttaisi saavuttamaan suurimpia säästöjä energiankulutuksessa. Lämmitystä voidaan tehostaa

esimerkiksi parantamalla rakennuksen eristystä. Eristyksen hyvyttä voidaan yksinkertaistetusti mitata lämmönläpäisykertoimella U , jonka yksikkö on W/m^2K (SFS-EN ISO 6946:2017). Eristys on sitä parempi, mitä pienempi U -arvo on, joskin aina $U \geq 0$. Lämmönläpäisykerroin voidaan määrittää joko numeerisesti, jolloin saadaan laskettua tarkempi arvo tai yksinkertaistetulla kaavalla. Numeerinen laskentatapa on esitetty standardissa SFS-EN ISO 10211:2017 (Mts. 15). Yksinkertaistettu kaava U -arvon laskennalle on standardin (SFS-EN ISO 6946:2017) mukaan:

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad (2)$$

, jossa:

U	Lämmönläpäisykerroin, W/m^2K
R_{tot}	Kokonaislämmönvastus, m^2K/W

Kaavassa (2) esitetty kokonaislämmönvastus R_{tot} saadaan rakennuksen sisä- ja ulkopinnan sekä homogeenisiksi oletettujen (eriste)materiaalikerrosten lämmönvastusten summana. Sisä- ja ulkopinnan lämmönvastukset riippuvat lämpövirran kulkusuunnasta ja ne on taulukoitu osana standardia. (ks. SFS-EN ISO 6946:2017.)

1.4 Rakennuksen laitteiden ja materiaalien tekninen käyttöikä

Arvioitaessa rakennuksen energiankulutusta ja etsittäessä mahdollisia energiansäästökohteita on järkevää ottaa huomioon rakennuksen laitteiden ja materiaalien oletettu tekninen käyttöikä. Teknisellä käyttöiällä tarkoitetaan aikaa, jolloin laite tai materiaali toimii odotetusti ja sen laskenta alkaa laitteen tai materiaalin käyttöönotosta. Tekninen käyttöikä on ohjeellinen yleistys samankaltaisten laitteiden ja materiaalien odotetusta kestästä ja sen pituuteen vaikuttavat muun muassa erilaiset rasitustilanteet käytössä sekä huollot ja muu kunnossapito. (RT 18-10922 2008.)

Kiinteistön kiinteiden sähköjärjestelmien suunniteltu käyttöikä on keskimäärin 15–50 vuotta (Rakenteiden ja rakennusten elinkaaren hallinta 2013). Sähköjärjestelmiä on kuitenkin suositeltavaa seurata säännöllisesti (ST 96.01 2020, liite 1) ja vialliset tai muuten vaaralliset järjestelmän osat on vaihdettava, huollettava tai poistettava käytöstä (L 1135/2016, 6§). Sähkölaitteiden uusimista kannattaa siis suunnitella ja harkita niiden keskimääräisen käyttöiän lopun lähestyessä, jolloin on mahdollista välttyä esimerkiksi vioittumisten aiheuttamilta toissijaisilta kustannuksilta.

2 Tutkimusmenetelmien esittely ja energiankulutuksen laskeminen

Energiankulutuksen säästämahdollisuuksien arvioimiseksi toimeksiantaja toimitti sähkökäyttötiedot vuosilta 2018–2022. Kohteessa suoritettiin myös mittauksia sähkölaitteille Metrel MI2892 -sähkönlaatumittarilla sekä pistorasiaan asennettavalla Nedis SmartLife älypistorasialla, jossa on myös energiamittaus. Mittaukset suoritti työn toimeksiantaja. Taloudellisen arvioinnin mahdollistamiseksi pyydettiin Nord Pool -sähköpörssistä toteutuneita sähkön pörssihintoja. Nord Pool myönsi sähköpörssin tietokannan käyttöoikeuden opiskelijalisenssillä opinnäytetyön ajaksi (Prices in Elspot pr hour – Helsinki n.d.). Tietokannasta pystyttiin etsimään toteutuneet tuntikohtaiset sähkön pörssihintatiedot vuosilta 2018–2022.

Aineiston analysointiin käytettiin avoimeen lähdekoodiin perustuvaa RStudio-käyttöliittymää (<https://posit.co/products/open-source/rstudio/>) ja R-ohjelmointikieltä (<https://www.r-project.org/>). Ohjelma ja ohjelmointikieli valikoituivat käyttöön aikaisemman kokemuksen ja helpon käytettävyyden takia. Metrel-sähkönlaatumittarin mittaustuloksia analysoitiin Metrel PowerView 3 -ohjelmalla.

Sähkönkulutustietojen mukaan kiinteistössä on tarkastelujakson aikana käytetty vuosittain keskimäärin noin 17640 kWh sähköä. Suurimmillaan vuosittainen sähkönkulutus on ollut vuonna 2018 noin 20225 kWh ja pienimmillään vuonna 2022 noin 14831 kWh. Vuoden 2022 syksyn aikana sisälämpötilaa laskettiin, ilmastointikone vaihdettiin, suihkujen päät vaihdettiin vähemmän vettä kulluttaviin ja lämmitykseen on käytetty aiempaa enemmän leivinuunia, mikä osaltaan selittää matalampaa kulutusta. Vuoden 2023 kulutusennuste koko vuodelle on marraskuun (2023) lopun tietojen perusteella 11837 kWh.

Poltetun puun määrä on ollut vuosina 2018–2021 noin 5 pino-m³ ja vuonna 2022 noin 10 pino-m³. Polttopuu on laadultaan ollut keskimäärin puolet koivua ja puolet havupuuta. Polttopuun laskennallinen energiasisältö on Ympäristöministeriön ohjeen mukaisesti havupuulle 1300 kWh/pino-m³ ja koivulle 1700 kWh/pino-m³ (Energiehokkuus 2018, s. 77). Tämän perusteella polttopuulla tuotettu energia on vuosina 2018–2021 ollut 7500 kWh ja vuonna 2022 15000 kWh.

Rakennukselle laskettiin arvio E-luvusta käyttäen Puuinfo Oy:n julkaisemaa vapaasti käytettävissä olevaa E-lukulaskuria (E-lukulaskuri 2.0 2019). Laskurilla E-luvuksi saatiin 179 kWh_E/m²a. Puuinfon

laskuri on tarkoitettu E-luvun alustavaan arviointiin, eikä välttämättä tarkalleen tai täysin vastaa Ympäristöministeriön ohjeessa laskettuja arvoja. Laskurin tuloksia ja välituloksia on vaikea arvioida täydellisesti, koska käytetyt kaavat tai välitulokset eivät ole näkyvissä. Puuinfon aikaisempi laskuri antoi kuitenkin kohtuullisen tarkkoja tuloksia sähkölämmitteisen rakennuksen osalta aikaisemman energialaskureita vertailevan opinnäytetyön perusteella (Virpi 2015, s.23), joten voidaan olettaa, että laskurin uusi versio toimii myös kohtuullisen tarkasti. Laskurin koostesivu ja siinä käytetyt lähtötiedot on annettu Liitteessä 1.

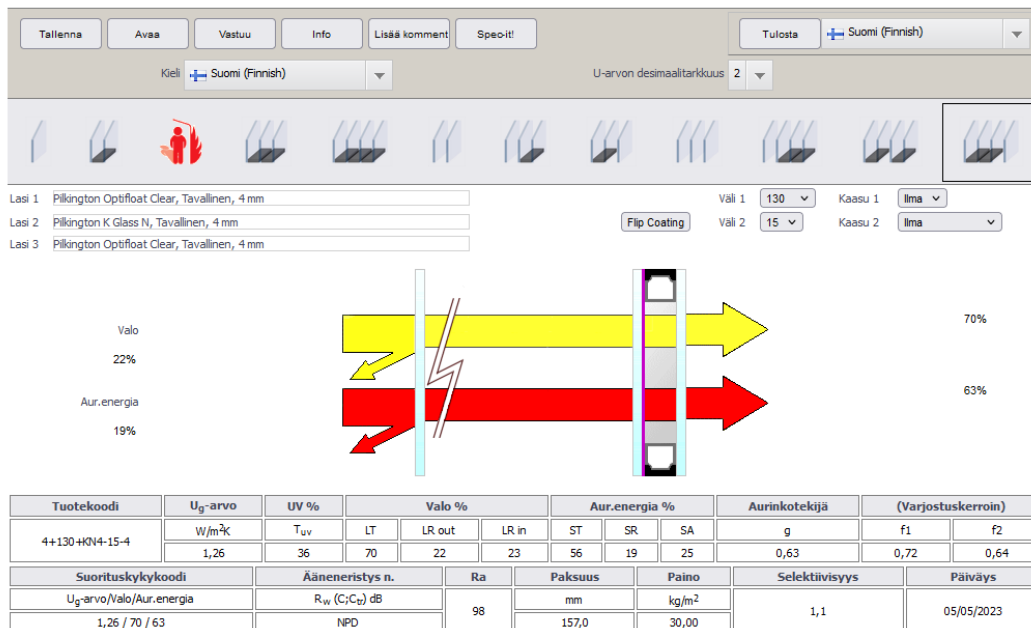
2.1 Säästömahdollisuudet lämmityksessä

Säästömahdollisuuksien selvittäminen aloitettiin suurimmasta energiankuluttajasta eli lämmityksestä. Lämmittämiseen liittyvät säästöt on helppoa toteuttaa lämmitystä vähentämällä ja optimoimalla tai muuttamalla lämmitysmuotoa, jos se on mahdollista. Lämmityksen vähentäminen aiheuttaa muiden muuttujien säilyessä samana sisälämpötilan laskun, mutta se voidaan toteuttaa ilman investointeja. Asuintilojen sisälämpötilan voidaan kuitenkin antaa laskea asumisturvallisuuden kannalta + 18 celsiusasteeseen (A 545/2015, liite 1). Analyyseissa on arvioitu saavutettua säästöä, jos sisälämpötila lasketaan alkuperäisestä + 21,5 celsiusasteesta + 19,5 celsiusasteeseen.

Muut energiansäästökeinot lämmityksen osalta kuin sisälämpötilan laskeminen vaativat erisuuruisia investointeja. Ensimmäisenä investointia vaativana remonttina tutkittiin ikkunoiden muuttamista lisäämällä tai vaihtamalla ikkunoihin eristyslaselementti ja siten parantamalla ikkunoiden eristävyyttä. Tarkoituksena ei siis ole vaihtaa koko ikkunaa. Toimeksiantajalla oli erityisesti halu selvittää, kuinka paljon energiaa ja rahaa on mahdollista säästää toimenpiteellä, kun investoitaisiin pelkästään materiaaleihin ja vaihtotyö tehtäisiin itse, eli työlle ei lasketa hintaa.

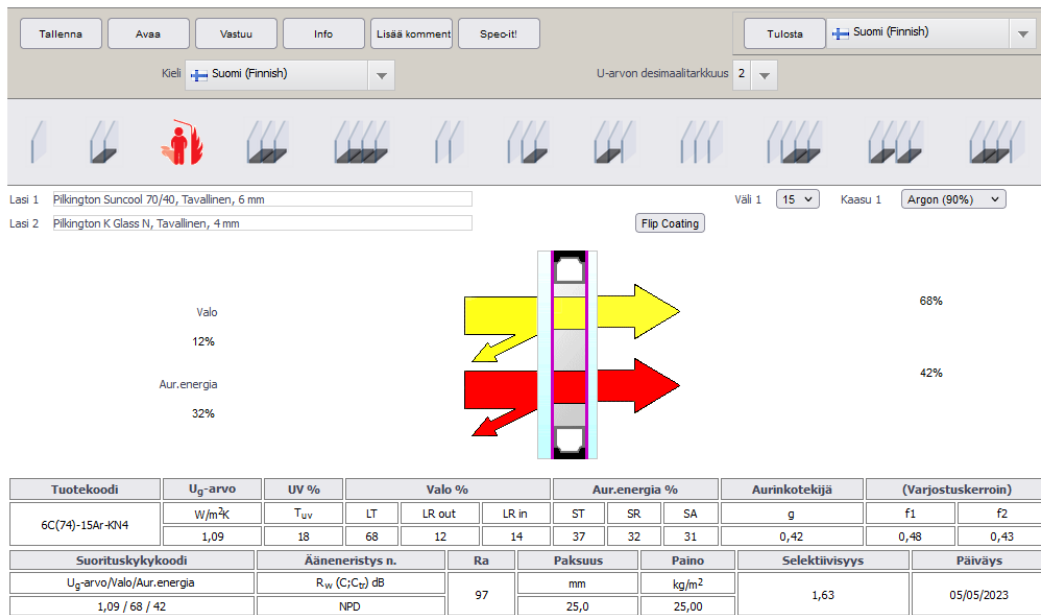
Nykyisten ikkunoiden lämmönläpäisykerroin eli U-arvo on $1,24 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ikkunat ovat tyypiltään kolmilasiset, joissa sisempänä on kaksilasin eristelaselementti ja ulkopuolella yksi lasi. Lasin materiaali ja mahdollinen eristelaselementin sisältämä eristekaasu ei ole tiedossa. Ei ole myöskään tiedossa, että onko annettu U-arvo laskettu koko rakenteelle karmit mukaan lukien vai pelkästään lasiosalle. Käytetyissä laskuissa oletettiin vertailun helpottamiseksi, että vanhojen ikkunoiden annettu U-arvo ja ohjelmalla lasketut U-arvot ovat riittävän tarkka arvio koko ikkunan, karmit mukaan lukien, U-arvoista.

Ikkunoiden U-arvon laskemiseen käytettiin Pilkington Spectrum ohjelmaa (Pilkington Spectrum n.d.). Ohjelmalla arvioitiin myös alkuperäisen ikkunan rakennetta tiedossa olevien muuttujien perusteella. Arvio vanhan ikkunan rakenteesta laskettuna ohjelmalla on esitetty Kuviossa 2. Kyseisellä rakenteella (tavallinen lasi, eristelaselementissä selektiivilasi ja tavallinen lasi, kaikkien lasien paksuus 4 mm ja eristekaasuna ilma) päästiin lähelle tunnettua vanhaa U-arvoa, ohjelman antaessa U-arvoksi 1,26 W/m²K.



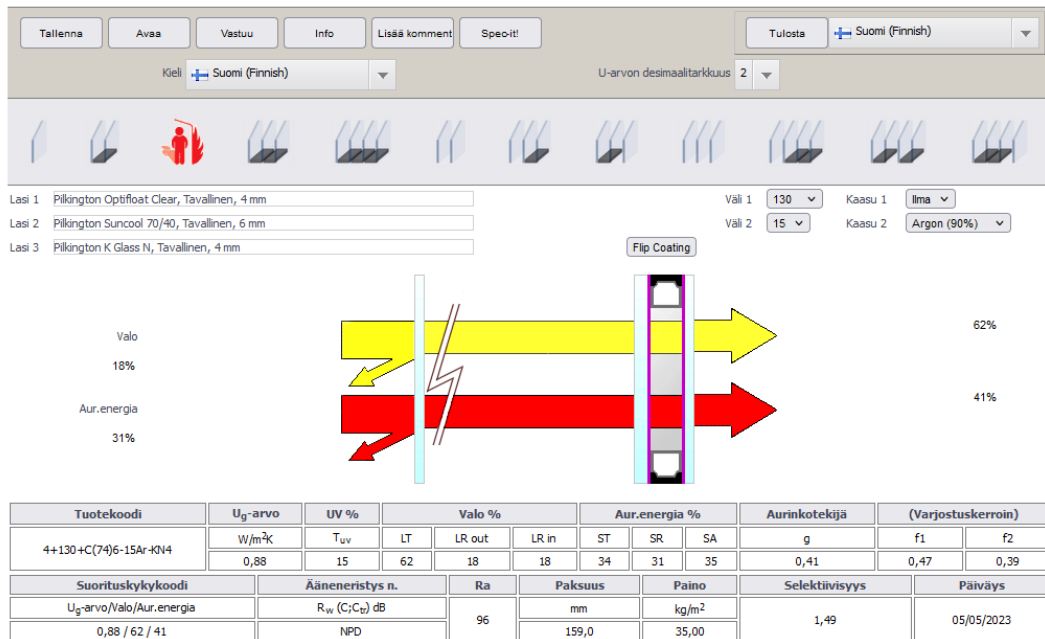
Kuvio 2. Pilkington Spectrum -ohjelmalla luotu arvio vanhan ikkunan rakenteesta.

Uuden eristelaselementin rakenteeksi valittiin mahdollisen toimittajan valikoimasta ulommaksi lasiksi 6 mm auringonsuojalasi ja sisemmäksi selektiivilasi. Eristekaasuksi valittiin argon. Tällä eristelaselementillä U-arvo (1,09 W/m²K) on jo parempi kuin alkuperäisellä kolmilasisella ikkunarakenteella. Uuden eristelaselementin rakenne on esitetty Kuviossa 3.

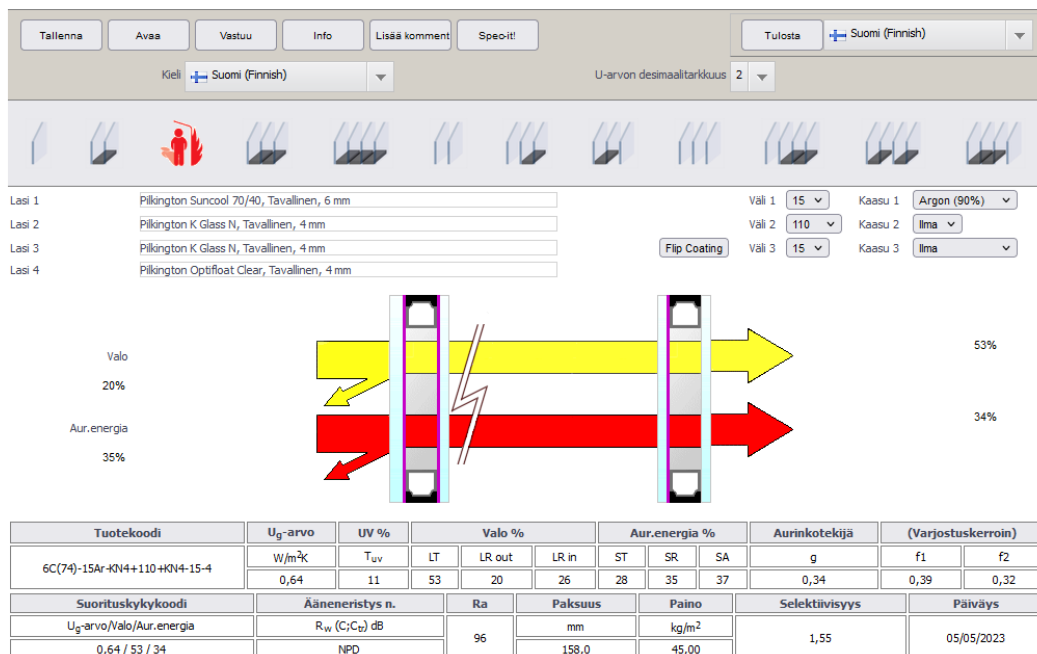


Kuvio 3. Pilkington spectrum -ohjelmalla laskettu uuden eristelaseielementin rakenne.

Uuden eristelaseielementin vaikutusta ikkunan U-arvoon testattiin kahdella eri vaihtoehdolla, vaihtamalla vanha eristelaseielementti uuteen (Kuvio 4) sekä hieman työläämpänä vaihtoehtona vaihtamalla uusi eristelaseielementti vanhan yksittäisen ulkolasin tilalle (Kuvio 5). Näistä ensin mainittu ei vaadi käytännössä muuta työtä kuin elementtien vaihdon, jälkimmäinen vaihtoehto vaatisi ulomman ikkunan lasin kiinnityksen muokkaamista ja vaatisi uusien kiinnikkeiden asennusta. Uusien ikkunoiden U-arvot olisivat ensimmäisen vaihtoehdon osalta 0,88 W/m²K ja jälkimmäisen vaihtoehdon osalta 0,64 W/m²K. Näiden uusien U-arvojen perusteella voidaan jo todeta, että ikkunoihin liittyvä lämmönjohtumishäviö voitaisiin kohtuullisin muutoksin pudottaa noin 50–70 % nykyisestä.



Kuvio 4. Ikkunan uusi rakenne, kun vaihdetaan vanha eristelaselementti uuteen.



Kuvio 5. Ikkunan rakenne, jos uusi eristelaselementti asennettaisiin vanhan yksittäisen ulkolasin tilalle.

Ikkunoiden kautta lämpöä häviää nykyisillä ikkunoilla vuoden aikana keskimäärin noin 4100 kWh sisälämpötilan ollessa 21,5 °C ja noin 3650 kWh 19,5 °C sisälämpötilalla. Vuosittainen euromääräinen ikkunoiden lämpöhäviöistä aiheutunut summa on esitetty Taulukossa 4. Kustannusten laskemiseen on käytetty tuntikohtaista ulkolämpötilaa ja hintaa, laskettua ikkunoiden lämmönjohtumis-häviötä sekä kahta eri sisälämpötilaa.

Taulukko 4. Ikkunoiden eri U-arvoilla ja eri sisälämpötiloilla vuodessa aiheutunut kustannus ikkunoiden lämpöhäviöistä.

	Y2018	Y2019	Y2020	Y2021	Y2022
IH_U=1,24_T=21,5	185,32 €	185,23 €	102,13 €	347,18 €	598,14 €
IH_U=1,24_T=19,5	165,15 €	165,14 €	89,52 €	315,11 €	529,67 €
IH_U=0,88_T=21,5	131,52 €	131,45 €	72,48 €	246,38 €	424,49 €
IH_U=0,88_T=19,5	117,20 €	117,20 €	63,53 €	223,62 €	375,90 €
IH_U=0,64_T=21,5	95,65 €	95,60 €	52,71 €	179,19 €	308,72 €
IH_U=0,64_T=19,5	85,24 €	85,24 €	46,20 €	162,64 €	273,38 €

Taulukon summien avulla voidaan todeta, että ikkunoiden muuttamisella voidaan parhaimmillaan saada usean sadan euron säästöt vuodessa, jos energian hankintahinta on suuri kuten vuonna 2022. Todennäköisemmässä tilanteessa, jossa ikkunoihin vaihdetaan vain uusi eristyslaselementti ja ikkunoiden U-arvo laskee arvosta 1,24 W/m²K arvoon 0,88 W/m²K, keskimääräinen vuosisäästö 21,5 °C sisälämpötilalla on noin 82 € ja 19,5 °C sisälämpötilalla noin 73 €. Jos vaihdettaisiin ikkunan yksinkertainen ulompi lasi uuteen eristyslaselementtiin ja U-arvo laskisi arvoon 0,64 W/m²K, säävutettaisiin vastaavasti 137 € ja 122 € keskimääräiset säästöt vuosittain. Pienempi säästö matalammalla sisälämpötilalla selittyy pienemmillä lämpöhäviöillä ulko- ja sisälämpötilojen ollessa lähempänä toisiaan.

Energian hinnan lisäksi säästöä saadaan myös energian siirtomaksun kulutusperusteisessa osuudessa, ns. peruskuukausimaksun säilyessä aina samana. Siirtämättä jää vuoden aikana U-arvojen laskiessa arvosta 1,24 W/m²K arvoon 0,88 W/m²K noin 1055 kWh ja verrattuna arvoon 0,64 W/m²K noin 1759 kWh vuoden 2022 kulutuksen mukaan. Siirtomaksujen säästöjen laskennassa käytettiin ainoastaan vuoden 2022 kulutustietoja lukuun ottamatta yöaikaisten häviöiden osuuden arviointia, koska vuoden 2022 kulutus vastaa todennäköisimmin tulevaa kulutusta ja siirtohinnat eivät muutu samalla tavalla kuin energian hinnat.

Kiinteistöllä on käytössä sähkölämmitteiselle omakotitalolle tyypillinen yösiirto-hinnoittelu, jossa yöaikaan siirtomaksu on halvempi. Elenian 1.5.2023 voimaan tulleen hinnaston mukaan (Verkkopalveluhinnasto, pienasiakkaat n.d.) sähkö- ja arvonlisäverollinen siirtomaksu on päivällä 7,12 snt/kWh ja yöllä 5,43 snt/kWh. Sähkönsiirrossa yöajaksi lasketaan kello 22–07. Laskettaessa ikkunoidenhäviöitä yöllä ja päivällä huomattiin, että vaikka yöaika muodostaa 37,5 % vuorokaudesta, häviöiden suuruus oli kuitenkin noin 42 % vuorokauden kokonaishäviöistä. Pääosin tämä johtuu siitä, että yöt ovat olleet tarkasteluaikana keskimäärin 3,4 °C kylmempiä kuin päivät. Ikkunoiden muutoksella säästetty energia oletettiin täysimääräisesti olevan pois siirretystä energiasta, tällöin säästöä syntyi siirtomaksuissa heikommalla U-arvolla noin 68 € ja paremmalla U-arvolla 113 € vuodessa.

Hinta-arvio eristyslaselementeille hankittiin yhdestä yrityksestä, jonka internetsivuilta saatiin hinta toimitettuna ”jakeluauton ulottumaan saakka”. Kokonaiskustannus eristyslaselementeille kyseisestä yrityksestä oli 4027,16 €. Mikäli ikkunoiden ulompi yksittäinen lasi vaihdettaisiin eristyslaselementtiin, tuottaisi se arviolta noin 1200 € lisäkustannuksia lisäkiinnitystarvikkeiden (valkoinen alumiinilista) takia.

Aikaisempien oletusten mukaisessa tilanteessa sisälämpötilan ollessa 19,5 °C, vanhan elementin vaihto uuteen maksaisi itsensä takaisin noin 29 vuodessa ja uuden elementin lisäys ulommaiseksi lasiksi maksaisi itsensä takaisin noin 23 vuodessa. Parhaimmillaan, jos sähkön hinta säilyy vastavana kuin vuonna 2022, ikkunoiden muutos voisi maksaa itsensä takaisin hieman yli 14 vuodessa. Laskennassa ei ole huomioitu mahdollisia korkoja, jos muutostyöhön vaadittaisiin lainan ottamista.

Ikkunoiden keskimääräinen tekninen käyttöikä puuikkunoille on normaalissa rasituksessa 50 vuotta (RT 18-10922, 2008, s. 7). Keskimääräisen teknisen käyttöikänsä huomioon ottaen ikkunoiden muutostyön takaisinmaksuaika on investointina kannattava ottaen huomioon myös sen, että ikkunoiden nykyinen ikä (14 vuotta) lisättynä muutostyön noin 29 vuoden takaisinmaksuaikaan on alle keskimääräisen teknisen käyttöikänsä, tarkoittaen, että myös ikkunoiden muu rakenne oletettavasti säilyy toimivana, kunnes muutostyö on maksanut itsensä takaisin.

2.2 Sähkön tuottaminen itse dieselgeneraattorilla kalleimpien tuntien aikana

Vaihtoehtona säästää energiakuluissa voisi olla dieselgeneraattorilla käyttö kaikkein kalleimpien tuntien aikana. Ympäristön kannalta sähkön tuottaminen polttomoottorin avulla ei tietenkään ole paras mahdollinen vaihtoehto, mutta toisaalta korkeahintaisten tuntien aikana todennäköisesti myös sähkömarkkinoilla myytävästä sähköstä osa on tuotettu kasvihuonekaasuja tuottavilla menetelmillä. Tutkittava dieselgeneraattori valittiin pääosin aineiston suurimman keskituntitehon perusteella, mutta kuitenkin huomioiden, että sillä voisi syöttää koko rakennuksen laitteet, myös sähkönlaadulle herkemmat laitteet. Valitun dieselgeneraattorin valmistajaa, mallia tai myyjää ei eritellä tarkemmin, mutta käytetyt arvot on otettu todellisen laitteen käyttöoppaasta.

Dieselgeneraattorin myyntihinta on 7490 €, nimellisteho maksimissaan 18 kVA, jatkuva nimellisteho 16 kVA (annettu myös pätöteho 13 kW), polttoainetankki 25 l ja kulutus täydellä teholla tankillinen / 8 h. Laskennassa käytetty elinikä laitteelle on 10000 tuntia. Polttoaineen hintana on käytetty 1,40011 €/l (Laske lämmitysöljyn hinta ja tilaa lämpöä kotiin n.d.). Halvin hinta 1000 l tilaukselle heinäkuussa 2023, hintavertailtu Nesteen, ST1:n ja ABC:n välillä.

Yllä annettujen arvojen mukaan dieselgeneraattorilla tuotetun kWh hinnaksi muodostuu polttoaineen ja laitteen hinta huomioon ottaen 39,42 snt/kWh. Hinnassa ei ole huomioitu erillisen n. 1000 l polttonestesäiliön (käytettynä noin 100–200 €) tai mahdollisen automatiikan aiheuttamaa kustannusta. Työssä tarkasteltavana ajanjaksona tämän hinnan ylittäviä tunteja on ollut yhteensä 601 kappaletta, joista kaikki vuoden 2021 marraskuun jälkeen. Laskennallinen säästö tänä aikana olisi ollut 203,17 € mukaan lukien myös sähkön siirrosta koituvat säästöt.

Sähköfutuuriin perusteella sähkön hinta tulee tulevaisuudessa pysymään alempana kuin generaattorilla tuotetun sähkön hinta eli tämän perusteella generaattorin hankinta ei ole kannattavaa pelkästään energiankustannuksissa säästämiseksi (Sähkön hintakatsaus 27.11.2023 2023). Lisäksi täytyy huomioida, että mediaanikeskiteho on ollut näiden kalliiden tuntien aikana ainoastaan 1,405 kWh, eli generaattori kävisi suuren osan ajasta pienellä kuormalla, joka vaikuttaa muun muassa generaattorin elinikään ja hyötysuhteeseen.

2.3 Sähköajoneuvon akuston käyttäminen tasaamaan huippukulutusta

Sähköautojen ajoakuston käyttämistä energiavarastona, auton ollessa käyttämättömänä laturissa, on esitetty yhtenä vaihtoehtona tasaamaan energian kulutusta ja vastaamaan energian tuotannon ja -kulutuksen ajalliseen kohtaanto-ongelmaan koko sähköverkon tasolla tulevaisuudessa (Haakana, Pinomaa, Karppanen, Tikka, Räisänen, Haapaniemi, Mashlakov & Lassila 2021, 61; Rautiainen 2015, 65). Yksinkertaisemmassa tilanteessa sähköajoneuvon akustoa voitaisiin käyttää tasa-painottamaan ainoastaan yhden kiinteistön sähkönkulutusta (Lassila 2022; Hiltunen 2023; Rautiainen 2015, 65).

Ajoneuvojen akuston hyödyntäminen energiavarastona on kiinnostavaa, koska laskennallinen energiavarastopotentiaali voi tulevaisuudessa olla Suomessakin yli 2 GWh ja ottoteho yli 1 GW (Rautiainen 2015, 65) sekä ajoneuvojen käyttöaste on keskimäärin hyvin matala, noin 5 %, eli ajoneuvo ei ole liikenteessä noin 95 % ajasta (Kempton, Tomic, Letendre, Brooks & Lipman 2001, 25–28; HE 161/2016). Potentiaali energiavarastona yhden kiinteistön osalta on ajallisesti lyhyempi olettaen, että autoa käytetään esimerkiksi töissä ja harrastuksissa käymiseen. Voidaan olettaa, että sähköauton akku olisi asuinkiinteistön käytössä keskimäärin noin 12-14 tuntia vuorokaudessa (8 h työpäivä + 1–2 h työ- ja muut matkat/suunta) painottuen illan ja yön tunteihin.

Ajoneuvon akuston hyödyntäminen energiavarastona vaatii niin sanotun kaksisuuntaisen latauslaitteen ja sen, että myös ajoneuvo tukee kaksisuuntaista latausta. Tekniikalla on erilaisia nimityksiä sen mukaan, miten kaksisuuntaisuutta käytetään, esimerkiksi V2G (vehicle-to-grid) tai V2H (vehicle-to-home). Kaksisuuntaisen latauksen uutuudesta kertoo se, että siihen liittyvät kansalliset ja kansainväliset standardit (ISO15118 ja IEC61851 päivitys) ovat osittain vasta tulossa. (Kaksisuuntaisen lataus, sähköauto sähkövarastona? 2023.)

Oletetaan, että toimeksiantajalla olisi tarve hankkia uusi auto työmatkoja varten. Tällöin voidaan ajatella, että hankintahinta on välttämätön kulu ja sitä ei oteta huomioon energiasäästöjen laske-misessa (kulu syntyisi, vaikka ei hankittaisi sähköautoa). Vuosien 2018–2022 päivän 12 keskimäärin kalleinta tuntia on esitetty Taulukossa 5. Taulukosta voidaan huomata, että kalleimmat tunnit osu-vat pääosin aamupäivään ja alkuiltaan, tosin parina viime vuonna trendi näyttäisi, että kalleimmat tunnit esiintyivät hieman myöhemmin illalla.

Taulukko 5. Vuoden kalleimmat tunnit eri vuosina, kellonajan (ylimmät 5 riviä) mukaan järjestettynä sekä hinnan mukaan suuruusjärjestyksessä (alimmat 5 riviä) (kallein vasemmalla).

2018	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19
2019	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18	19
2020	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18	19
2021	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19
2022	7	8	9	10	11	12	15	16	17	18	19	20
2018	8	9	10	7	18	11	17	12	13	19	16	15
2019	8	9	10	18	7	11	12	13	17	19	16	14
2020	18	8	9	17	10	7	11	12	16	19	13	14
2021	18	8	17	9	10	19	11	7	16	12	15	13
2022	18	8	9	19	17	10	7	11	12	16	20	15

Taulukon 5 mukaan paras säästöpotentiaali olisi tällöin virastotyöaikaan (poissa kotoa kello 7–17) noudatettaessa kello 17–20 välisenä aikana. Akun lataaminen suoritettaisiin yöaikaan (22–6). Tehdään laskelmien mahdollistamiseksi lisäksi seuraavat oletukset: latauslaite kykenee tuottamaan maksimissaan 11 kW jatkuvaa tehoa molempiin suuntiin, hankitussa sähköautossa on 55 kWh akku (netto, eli aidosti käytettävissä oleva osuus akusta), kantama noin 400 km, työmatka on 20 km/suunta, autoa ladataan vain kotona, ennen töihin lähtöä akku on 80 % varauksessa ja akkua ei koskaan tyhjennetä alle 30 % varaukselle (akun eliniän säilyttämiseksi).

Edellä esitettyjen oletusten perusteella laskettiin kaavan (3) mukaisesti, että akun kapasiteetista olisi käytettävissä 160 km ajomatkaa vastaava energiamäärä eli 22 kWh.

$$\frac{0,8 * 400 \text{ km} - 40 \text{ km} - 0,3 * 400 \text{ km}}{400 \text{ km}} * 55 \text{ kWh} = 22 \text{ kWh} \quad (3)$$

Koska latauslaitteen teho oli maksimissaan 11 kW, tuntikohtaisesti hyödynnettiin maksimissaan 11 kWh, hyvin harvoin tämä kuitenkin oli rajoitteena ja pääosin tutkittujen tuntien yhteenlaskettu energiamäärä jäi alle 22 kWh. Laskuissa käytettiin tunti hinnoista kulutuksella painotettua keskihintaa tutkitulta ajanjaksolta sekä purun että latauksen osalta. Latauksessa huomioitiin työmatkojen kuluttama energia ja latauksen osalta kulutus jaettiin tasan jokaiselle tunnille. Jos huomioidaan ai-

noastaan energianhinta, säästöä saadaan jokaisena tarkasteluvuotena, mutta säästö jää varsin pieneksi. Mikäli huomioidaan myös sähkösiirrosta (päiväsiirto – yösiirto) saatava säästö, säästön suuruus nousee jo suuremmaksi. Saavutettavat säästöt euroina vuosittain on esitetty Taulukossa 6.

Taulukko 6. Saavutettavat säästöt vuodessa, kun käytetään sähköauton akkuun varastoitua energiaa kalleimman kulutuksen aikaan ja ladattaessa sitä halvimpien tuntien aikaan.

	2018	2019	2020	2021	2022
Energia	46,32 €	31,65 €	9,82 €	18,56 €	5,51 €
Energia + siirto	162,87 €	140,15 €	112,22 €	122,85 €	99,86 €

Tulosten perusteella suurimmat säästöt akun käytöstä, kun kyseessä on niin sanottu päivittäinen käyttö, saadaan energian siirron ajoittamisesta yöaikaan eli päivä- ja yösiirtohintojen erotuksesta, joka tässä tapauksessa on 1,69 snt/kWh. Tämän perusteella olisi edullisempaa hankkia mahdollisimman suuri akku ja pyrkiä siirtämään sen avulla siirtoa verkosta kiinteistölle yöaikaan. Esimerkiksi jos käytössä olisi esimerkin mukainen 22 kWh akku, voisi säästöä siirtomaksuissa saada kaavan (4) mukaisesti vuodessa maksimissaan:

$$\frac{22 \text{ kWh} * 1,69 \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} * 365}{100} = 135,71 \text{ €} \quad (4)$$

Tämän suuruisilla vuotuisilla säästöillä kiinteän akuston hankinta kiinteistölle ei ole perusteltua, jos lasketaan esimerkiksi vastaavalle 22 kWh akustolle hinnaksi 700 €/kWh ja käyttöiäksi 10 vuotta (takuu aika) (Energiavarastot n.d.), ei saaduilla säästöillä voida kompensoida hankintakustannuksia (1540 €/vuosi). Sähköauton akuston hyödyntäminen voisi olla järkevää, jos saatua säästöä käytetään esimerkiksi pienentämään vuotuisia laskennallisia käyttökustannuksia, jolloin vertailu polttomoottorilla varustettuun autoon tulee entistä edullisemmaksi.

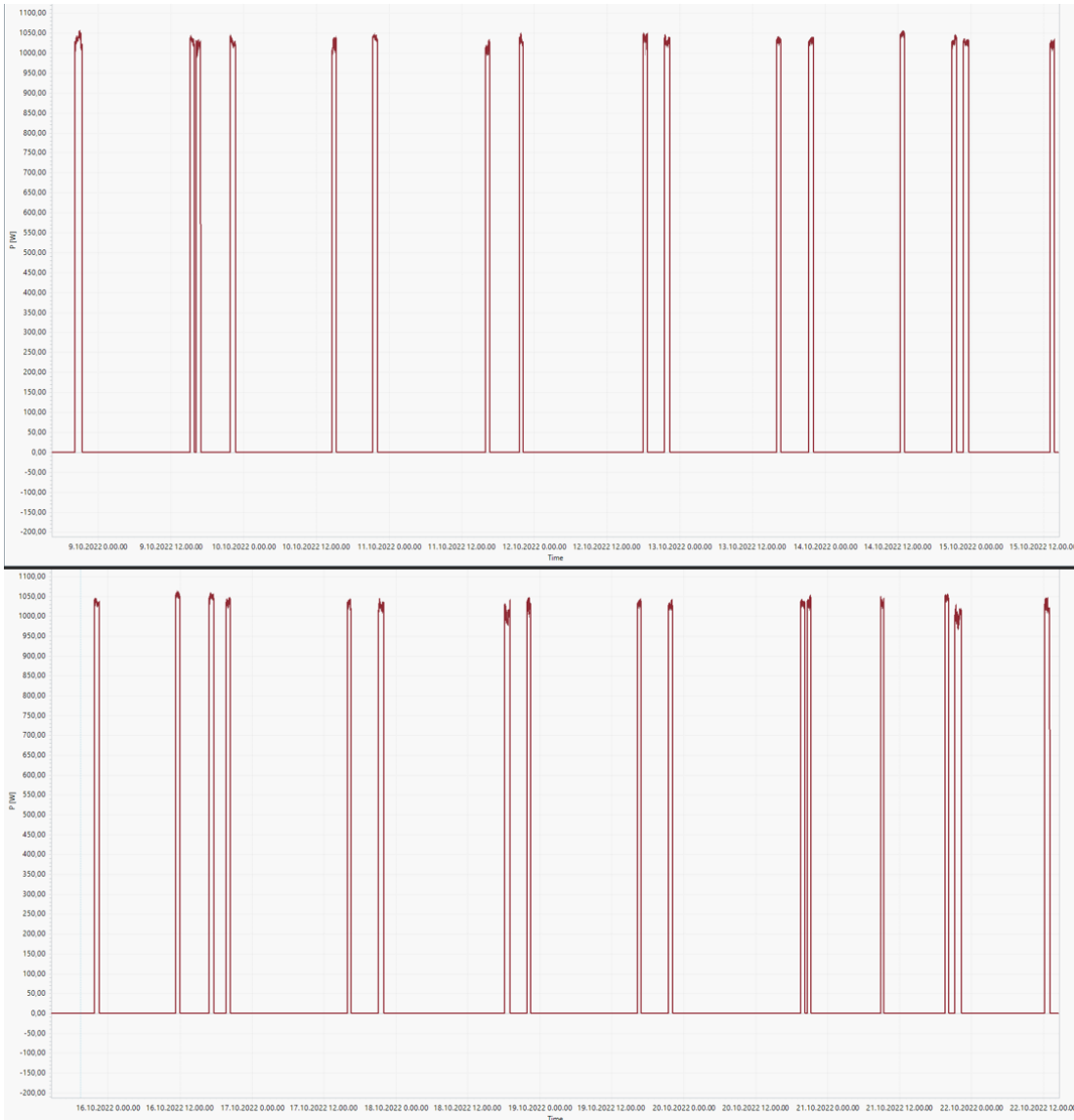
2.4 Laitteiden vaihtamisen vaikutus energiankulutukseen

Kiinteistön sähkölaitteiden energiankulutusta tutkittiin toimeksiantajan toimesta sähkönlaatumittauksin sekä pistorasiaan asennettavan energiamittarin avulla. Laitteiden kuntoa arvioitiin aistihavaintojen perusteella. Aistihavaintojen perusteella sähkölaitteissa ei havaittu vikoja. Syksyn 2022 aikana kiinteistölle vaihdettiin lisäksi vedenkulutusta pienentävät suihkupäät sekä koneellisen ilmastoinnin yksikkö. Ilmastointiyksikkö vaihdettiin pääosin entisen laitteen iän, sekä uuden laitteen paremman automaation takia. Ilmastointiyksikön keskimääräinen tekninen käyttöikä on 10–15 vuotta, jos se on jatkuvasti päällä, kuten omakotitalossa käytännössä on (RT 18-10922 2008).

2.4.1 Lämpimän veden säästäminen - suihkukahvat

Suihkukahvojen vaihdon vaikutusta tutkittiin mittaamalla lämminvesivaraajan käyttämää energiaa Metrel MI2892 -sähkönlaatumittarilla viikon ajan vanhoilla suihkukahvoilla ja toisen viikon uusilla vedenkulutusta pienentävillä kahvoilla. Mittauksien tulokset aikataulutettiin siten, että ne alkavat ja loppuvat samaan kellonaikaan samana viikonpäivänä ja molemmille mittausajanjaksoille osui 16 lämmitystapahtumaa, jolloin voidaan ajatella ajanjaksojen olevan kohtuullisesti vertailtavissa kulutuksen osalta.

Ensimmäisellä viikolla lämminvesivaraajan energian kulutus 37,90 kWh ja jälkimmäisellä viikolla 36,28 kWh. Vähemmän vettä kuluttavilla suihkukahvoilla voi siis olla pieni vaikutus energian kulutuksen vähentämisessä veden kulutuksen vähentämisen lisäksi, joskin mittausasetelma sisältää epävarmuustekijöitä, kuten esimerkiksi veden kulutustietojen puuttumisen, joten täysin luotettavia johtopäätöksiä asiasta ei voi tehdä. Kuviossa 6 on esitetty mittausten tehonkulutuksen trendit, ylempänä vanhoilla kahvoilla ja alempana uusilla ECO kahvoilla.



Kuvio 6. Lämminvesivaraajan tehonkulutuksen trendit vanhoilla ja uusilla suihkukahvoilla, kuvakaappaus Metrel PowerView-ohjelmasta (muokattu)

Jos kuitenkin oletetaan, että puolet mitatusta energiamäärän erotuksesta on syntynyt suihkukahvojen ansiosta, vuodessa voi säästää 42,12 kWh (52 vko * 0.81 kWh/vko). Tällöin, pelkästään energian kulutusta tarkasteltaessa, vuodessa voisi säästää hinnalla 6,9 snt/kWh (keskihinta 2018–2022) yhteensä noin 2,9 €, jolloin ECO-suihkukahvat maksaisivat itsensä takaisin verrattuna vastaaviin ilman ECO-ominaisuutta oleviin kahvoihin noin kahdessa ja puolessa vuodessa (esimerkiksi Oras Apollo 22,95 € ja Oras Apollo ECO 29,95 €, K-Rauta, 9.12.2023). Suihkukahvojen todennäköinen käyttöikä on pidempi kuin laskettu takaisinmaksuaika, eli hankintaa voidaan pitää kannattavana.

2.4.2 Ilmastoinnin parantaminen - ilmastointiyksikkö

Ilmastointiyksikön energiankulutusta mitattiin samalla mittarilla kuin lämminvesivaraajan tapauksessa. Vanhaa konetta seurattiin yhteensä kahden viikon ajan ja keskimääräiseksi energiankulutukseksi viikossa saatiin 12,8 kWh. Uuden koneen 12 tunnin pituisen mittauksen perusteella arvioitu viikkokohtainen energiankulutus olisi 11,46 kWh. Arviointi toistettiin myös jakamalla vanhan koneen pidempi mittaus 12 tunnin ajanjaksoihin ja ottamalla näiden ajanjaksojen keskiarvoinen 12 tunnin kulutus. Uudella koneella 12 tunnin kulutus oli 0,82 kWh ja vanhan koneen keskiarvoinen kulutus 0,93 kWh.

Ero uuden ja vanhan ilmastointiyksikön energiankulutuksen välillä saattaa johtua mittausten eroista. Vanhalle ilmastointiyksikölle suoritettiin huomattavasti pidemmät mittaukset pidemmällä näytevälillä (7 vrk, 10 s näyteväli), kun uudelle suoritettiin ainoastaan 12 tunnin mittaus 1 sekunnin näytevälillä. Uuden koneen osalta vaikutusta voi olla sillä, että mittauksia suoritettiin samalla mittarilla vain yksi.

Taloudellinen arviointi uuden ja vanhan ilmastointiyksikön välillä toteutettiin arvioimalla vuosisäästöä ja käyttämällä keskimääräistä sähkön hintaa kuten suihkukahvojen kanssa. Energiaa säästyisi vuodessa laskennallisesti $52 * (12,8 \text{ kWh} - 11,46 \text{ kWh})$ eli 69,68 kWh. Euroina säästö olisi energian hinnan osalta 4,81 € vuodessa (6,9 snt/kWh), joka yksinään ei riitä kattamaan investointikustannuksia laitteen keskimääräisen teknisen käyttöiän puitteissa.

Vanha laite on voinut olla jo teknisen käyttöikänsä lopulla ja mahdollisuus laiterikkoihin suurenee laitteen ikääntyessä. Kyseisen laitemallin valmistus on lopetettu 2019, joten mahdollisesti tarvittavien varaosien saanti heikentyy tulevaisuudessa, vaikka valmistaja onkin lupautunut pitämään varaosia 10 vuotta saatavilla. Hankintapäätöksessä toimeksiantaja oli myös painottanut laitteen parempaa automatiikkaa, joka mahdollistaa tarkemman ohjattavuuden tarpeen mukaan.

Ohjattavuuden parantumisesta mahdollisesti syntyviä säästöjä ei ehditty tutkimaan.

2.5 Käyttäjälle edullisimman sähkösopimuksen selvittäminen

Helppona vaihtoehtona säästää sähkön hinnassa on kilpailuttaa oma sähkösopimus tai valita vain nykyistä sähkösopimusta halvempi sopimus, jos sellainen on mahdollista. Energiavirasto ylläpitää Sähkönhintapalvelua, jossa kuluttajat voivat vertailla tarjolla olevia sähkösopimuksia. Palvelua käyttäessä kannattaa kuitenkin ottaa huomioon, että esimerkiksi pörssisähkösopimusten hinnat on laskettu kuukauden keskimääräisen kWh hinnan mukaan, jolloin ero esimerkiksi kiinteähintaiseen sopimukseen voi kaventua tai kasvaa oman käytön suhteen.

Toimeksiantaja oli saanut nykyiseltä energiayhtiöltään tarjouksen kiinteähintaisesta määräaikaisesta sopimuksesta toukokuussa 2023. Tarjous oli 10,91 snt/kWh + 3,99 €/kk kahden vuoden määräaikaiselle sopimukselle. Kuukausimaksua ei vertailussa otettu huomioon, koska se oli lähes sama kaikissa vertailuissa sopimuksissa. Sopimuksen edullisuuden arvioimiseksi laskettiin edellisten viiden vuoden perusteella vuosikohtaiset käyttöpainotetut keskihinnat kilowattitunnille. Painottamalla hintaa oman kulutustottumuksen mukaan voidaan arviota omasta hinnasta tarkentaa kaavan (5) mukaisesti:

$$\sum_a (tunnin\ keskiteho * tuntihinta) / \sum_a (keskiteho) \quad (5)$$

, jossa:

\sum_a

on summa kyseisen vuoden tuntien yli.

Taulukko 7. Toimeksiantajan käyttöpainotetut keskihinnat sekä hintojen keskiarvot vuosittain (snt/kWh)

	2018	2019	2020	2021	2022
Painotettu (snt/kWh)	4,64	4,54	2,93	8,42	15,81
Keskiarvo (snt/kWh)	4,68	4,40	2,80	7,23	15,40

Vertailun vuoksi laskettiin myös vuoden keskihinta. Jos painotettu hinta Taulukossa 7 on suurempi kuin keskihinta, on toimeksiantaja käyttänyt keskimääräistä enemmän sähköä kalliiden tuntien aikaan ja vastaavasti toisin päin. Verraten vuoteen 2022 toimeksiantajan sama tarjous olisi heille edullinen, mutta jos sitä verrattaisiin aiempiin vuosiin, olisi tarjous kallis. Vertailukohtana tarjouk-

sen edullisuudesta voitaisiin käyttää myös sähköpörssin futuurihintatasoa eli tulevien hintojen ennustetta, mutta tällöin täytyisi ennustamiseen liittyvät riskit huomioida myös oman talouden osalta. 24 kuukauden futuurien keskihinta (sis. alv 24 %) toukokuussa 2023 on ollut 7,49 snt/kWh (Sähkön hintakatsaus 8.5.2023 2023) ja marraskuussa 2023 7,00 snt/kWh (Sähkön hintakatsaus 27.11.2023 2023), joten tarjous on ollut kalliimpi kuin futuurien keskihinta.

3 Keskeiset tulokset ja pohdinta

Tavoitteena työssä oli selvittää erilaisia mahdollisuuksia energian ja rahan säästämiseksi toimeksiantajan omakotitalossa sekä selvittää mahdollisten muutosten taloudellista kannattavuutta ottaen huomioon rakenteiden käyttöiät. Tavoitteena oli lisäksi päivittää tietämystä oman energiantuotannon ja -varastoinnin kannattavuudesta nykyisessä maailmantilanteessa sekä teknologian kehittymisen osalta. Osa tutkituista aiheista liittyi suoraan energiankulutuksen vähentämiseen, osa enemmänkin taloudelliseen säästöön. Energiaa säästäviksi ratkaisuksi voidaan katsoa sisälämpötilan laskeminen, ikkunaelementtien, suihkupäiden ja ilmanvaihtoyksikön vaihtaminen. Taloudelliseen säästöön tähtääviä ratkaisuja sen sijaan ovat dieselgeneraattorin, sähköauton akuston sekä toimeksiantajan käyttöön parhaiten hinnaltaan soveltuvan sähkösopimuksen tutkiminen.

Ennen tutkimuksen aloittamista suoritettiin tutkimuseettinen tarkastelu, josta tehtiin kirjaukset opinnäytetyö- ja aineistonhallintasuunnitelmiin. Esimerkiksi aineistojen käytöstä, mahdollisesta tunnistetietojen poistosta ja julkisuudesta sovittiin toimeksiantajan ja muiden rajoitettuun käyttöön annettujen aineistojen toimittajien kanssa. Julkisesti käytössä olevista lähteistä saaduista aineistoista sekä muista tiedoista merkittiin lähteet selvästi esille. Eettistä tarkastelua jatkettiin koko opinnäytetyöprosessin ajan.

Tutkimuksen aikana havaittiin, että selvityksen kannalta tärkeät sähkönkulutustiedot ovat nykyään helposti saatavissa eri toimijoiden tietokannoista. Tietokantoja ylläpitävät esimerkiksi verkkoyhtiöt ja sähköä myyvät yhtiöt. Sähköverkkoyhtiöiden tietokannoissa on kokemuksen perusteella tietoa pisimmälle historiaan, koska verkkoyhtiö säilyy verkkomonopolin takia, vaikka sähkömyyjää muutettaisiin. Kantaverkkoyhtiö Fingrid ylläpitää Datahub-tietokantaa, jossa näkyy sekä verkko- että sähkömyyntisopimukset. Kulutustietojen perusteella toimeksiantajan sähkönkäyttöä ja sen ajoit-

tumista voitiin tutkia ja saatuja havaintoja käyttää energiansäästökeinojen vertailussa. Sähkönkulutuksen ajankohdan huomattiin olevan joidenkin tutkittujen keinojen osalta erittäin merkittävä saatavan säästön kannalta esimerkiksi sähkön siirron yö- ja päivähintojen erotuksen takia.

Teoriaosuutta kirjoittaessa selvisi, kuinka tärkeää kiinteistön energiansäästömahdollisuuksia tutkittaessa olisi ensimmäisenä selvittää kiinteistön nykyinen tila. Kiinteistön nykytilan selvittämiseksi voitaisiin hankkia energiatodistus, vaikka se onkin pakollinen olemassa oleville rakennuksille vasta myynnin tai vuokrauksen yhteydessä (L 50/2013). Energiatodistuksen sisältämien toimenpide-ehdotusten perusteella voitaisiin tulevia investointeja asettaa tärkeysjärjestykseen ja niiden suunnittelu helpottuisi myös taloudellisten päätösten näkökulmasta.

Tarkastelluista energiansäästövaihtoehtoista taloudellisesta näkökulmasta paras ja myös nopeimmin vaikuttava vaihtoehto on laskea asunnon sisälämpötilaa. Taloudellisesti se on paras vaihtoehto, koska sisälämpötilan laskeminen ei vaadi investointeja ja säästö alkaa heti toteuttamisen jälkeen. Toimeksiantajan tapauksessa sisälämpötilan asetteluarvo on laskemisen jälkeen edelleen hyväksyttävällä tasolla (A545/2015, liite 1). Mahdollinen vaikutus asumismukavuuteen jää todennäköisesti myös pieneksi tai hetkelliseksi.

Tutkimuksen perusteella energiankulutuksen vähentämiseen tähtäävät toimet olivat investointeina kannattavimpia. Esimerkiksi ikkunoiden lisäeristäminen tuottaa rahallisia säästöjä jo ennen kuin ikkunan muu osa saavuttaa keskimääräisen teknisen käyttöikänsä. Ikkunan U-arvon paranemiseen vaikuttaa lopulta myös muutoksen toteutuksen laatu. Jos ikkuna ei muutoksen jälkeen ole esimerkiksi enää ilmatiivis, vaikutus voi lopulta kasvattaa energiankulutusta. Investointina ikkunoiden lisäeristys ei kuitenkaan ollut suuri, joten kireämmässäkin taloustilanteessa se voi olla mahdollista verrattuna esimerkiksi koko ikkunan vaihtamiseen.

Sähkön tuottaminen itse dieselgeneraattorilla oli tutkimuksen perusteella kallista, vaikka sähkön hinta onkin viime aikoina välillä ollut korkeampi kuin generaattorilla itsetuotetun sähkön hinta. Sähkön tuottaminen itse ei siis pelkästään rahan säästämisen takia ole kannattavaa, mutta suunniteltaessa investointia generaattoriin voidaan huomioida mahdolliset markkinoiden tai sähkönsaannin häiriötilanteet ja turvata oma sähkönsaanti niiden aikana.

Sähköopinmuksen edullisuutta arvioitaessa voidaan käyttää kiinteähintaisten sopimusten kohdalla apuna sähköfutuuriin hintoja, pörssisähkö- ja yhdistelmäopinmuksen kanssa myyntiyhtiöiden marginaalit sekä oman sähkönkäytön ajoittuminen ovat tärkeitä muuttujia. Vertaamalla omalla kuluksella painotettua keskihintaa puhtaaseen keskihintaan voidaan selvittää, onko oma käyttö enemmän kalliiden kuin halpojen tuntien aikana. Erityisesti kiinteähintaisen sopimukseen osalta arvioitaessa hintaa täytyy kuitenkin ottaa huomioon myös sähköyhtiön varmuuskertoimet ja katteet sekä oma riskin sietokyky. Nykyisessä maailmantilanteessa kiinteähintainen sopimus voi tuoda mielenrauhaa. Perusmaksuissa oli sopimustyyppien sisällä hyvin pieniä eroja myyjien välillä.

Työssä onnistuttiin saamaan käsitys energiankulutukseen ja taloudelliseen säästöön vaikuttavista toimista sekä perustelemaan mahdollisten investointien kannattavuutta. Perustelujen tueksi onnistuttiin myös löytämään hyvin tietoa, josta suurin osa on vapaasti kaikkien käytettävissä. Aiheen rajaamiseen olisi työn aluksi voinut käyttää enemmän aikaa, työn aikana ongelmalliseksi nousi joidenkin aihealueiden laajuus, esimerkiksi kiinteistöautomaatio, jotka vaatisivat riittävän perusteellisen tarkastelun mahdollistamiseksi kokonaan oman opinnäytetyönsä. Ajanpuutteen vuoksi myös käään kulutuksen seuranta ei ehditty suorittamaan vuoden 2022 toteutuneen kulutuksen sekä vuoden 2023 pienentyneen kulutusennusteen välillä.

Tulosten yleistettävyyden, luotettavuuden ja käyttökelpoisuuden vuoksi tavoitteena oli käyttää mahdollisimman paljon vapaasti käytettävissä olevaa tietoa, kuitenkin noudattaen tiukkaa lähdekritiikkiä. Esimerkiksi sähkön tuntihintatiedot jouduttiin kuitenkin hankkimaan käyttörajoitetusta tietokannasta, joka haittaa hieman työssä esitettyjen laskentamenetelmien yleisempää käyttöä, joskin tietokantaan on mahdollista saada pääsy myös maksua vastaan. Tulosten luotettavuuden arvioimisen helpottamiseksi analysointiin käytetty R-ohjelman koodi on liitetty osaksi opinnäytetyötä kommentoituna.

Tutkimuksessa esitetyt tulokset eivät suoraan ole yleistettävissä, koska laskelmat perustuvat vahvasti kyseisen kiinteistön sähkönkulutukseen, rakenteeseen sekä maantieteelliseen sijaintiin (lämpötila). Näiden muuttujien muuttuminen saattaa muuttaa kannattavan investoinnin toisessa kohdessa kannattamattomaksi. Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät ovat sen sijaan helposti yleistettävissä ja niitä voidaan käyttää eri kiinteistöjen kohdalla investointien kannattavuuslaskelmissa.

Toimenpiteiden taloudellisia vaikutuksia on arvioitu toteutuneiden sähkönhintojen perusteella, joka ei takaa, että tulokset olisivat tulevaisuuden hintojen perusteella samat. Toisaalta tarkastellun ajanjakson pituus auttaa tasoittamaan mahdollisia poikkeavuuksia ja tarkastelujakson keskihinta (6,9 snt/kWh) vastaa melko hyvin sähkön 24 kk futuurien keskihintaa (6,78 snt/kWh) (Sähkön hintakatsaus 11.12.2023 2023).

Jatkokehityksenä voitaisiin tarkastella, kuinka suuri osuus energiankulutuksen tippumisella vuoden 2022 tasosta vuoden 2023 tasolle johtui tehdyistä muutoksista, sisälämpötilan laskusta, suihku- kahvoista ja ilmastointiyksikön vaihdosta, ottaen huomioon, että vuosi 2023 on ollut erityisen lämmin (2023 shatters climate records, with major impacts 2023). Lisäksi kiinteistöautomaatiojärjestelmien mahdollistamasta energiansäästöä voitaisiin tehdä uusi opinnäytetyö. Jatkossa on tärkeää huomioida Euroopan unionin Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin tuomat uudet vaatimukset, jos niillä on vaikutuksia olemassa olevalle rakennuskannalle (Rakennusten energiatehokkuusdirektiivistä alustava sopu 2023).

Sähköauton akun käyttämistä sähkövarastona kiinteistön omassa käytössä voisi myös tutkia lisää, kun kaksisuuntaisen latauksen standardit vahvistetaan. Mielenkiintoista olisi tietää, että onko akustojen käyttö kannattavaa myös yksittäisen kuluttajan tasolla tasaamaan kulutusta koko sähköjärjestelmän tavoin (Koutitas & McClellan 2017, 98). Tällöin koko sähköverkon laajuista, mahdollisesti kallista, ohjaustekniikkaa kaksisuuntaisen latauksen ohjaamiseksi ei välttämättä vaadittaisi.

Lähteet

Asumisen energiankulutus 2021. 2022. Verkkojulkaisu. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 25.1.2023. <https://www.stat.fi/julkaisu/ckfwmfrsg03h3015636dbwcpq>.

A 545/2015. Asumisterveysasetus. Annettu 23.4.2015. Viitattu 14.4.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>.

E-lukulaskuri 2.0. 2019. Excel-pohjainen mitoitustyökalu rakennuksen hankesuunnitteluvaiheen tarpeisiin. Helsinki: Puuinfo. Viitattu 19.4.2023. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/mitoitustyokalu/e-lukulaskuri-2-0/>.

Energiatehokkuus. 2017. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, 2018. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Energiavarastot. N.d. Nordsolarin verkkokauppa. Viitattu 8.12.2023. <https://nordsolar.fi/tuotteet/aurinkosahkoa-kotiin/energiavarastot/>.

Haakana, J., Pinomaa, A., Karppanen, J., Tikka, V., Räisänen, O., Haapaniemi, J., Mashlakov, A. & Lassila, J. 2021. Joustava ja toimintavarma sähköjakeluverkko – Joustoresurssit käyttötoiminnassa. Tutkimusraportti. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. Viitattu 21.11.2023. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/163052/Joustava%20ja%20toimintavarma%20s%c3%a4hk%c3%b6njakeluverkko%20-%20Joustoresurssit%20k%c3%a4ytt%c3%b6toiminnassa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

HE 161/2016. Hallituksen esitys liikennekaareksi ja eräksi siihen liittyviksi laeiksi. Viim. julkaistu 3.11.2021. Viitattu 21.11.2023. <https://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2016/20160161>.

Hiltunen, T. 2023. Sähköauton akkua voi kohta käyttää kodin varavirtapankkina kaksisuuntaisella latauksella. Helsinki: Yle. Julkaistu (10.2.2023 klo 10.05). Viitattu 21.11.2023. <https://yle.fi/a/74-20017199>.

Jyväskylä lentoasema (2018–2022). N.d. Ilmatieteenlaitoksen Havaintojen lataus -palvelu. Viitattu 8.2.2023. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>.

Kaksisuuntainen lataus, sähköauto sähkövarastona?. 2023. Sähköinen artikkeli. Sesko ry. Julkaistu 4.9.2023. Viitattu 21.11.2023. <https://sesko.fi/kaksisuuntainen-lataus-sahkoauto-sahkovarastona/>.

Kempton, W., Tomic, J., Letendre, S., Brooks, A. & Lipman, T. 2001. Vehicle-to-Grid Power: Battery, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles as Resources for Distributed Electric Power in California. UC Davis: Institute of Transportation Studies. <https://escholarship.org/uc/item/5cc9g0jp>

Koutitas, G. & McClellan, S. 2017. The Smart Grid as an Application Development Platform. Boston ; Lontoo: Artech House. Viitattu 19.11.2023. <https://janet.finna.fi/>, Ebook Central.

L 1135/2016. Sähköturvallisuuslaki. Annettu 16.12.2016. Viim. muutos 11.4.2022. Viitattu 8.2.2023. <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161135>.

L 50/2013. Laki rakennuksen energiatodistuksesta. Annettu 18.1.2013. Viim. muutos 21.4.2023. Viitattu 9.12.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130050>.

Laske lämmitysöljyn hinta ja tilaa lämpöä kotiin. N.d. Nesteen polttoaineiden tilaussivu. Viitattu 16.7.2023. <https://www.neste.fi/lammitusoljytilaus>.

Lassila, A. 2022. Sähköauto on halvin tapa hankkia kotiin suuri akku, ja sitä voidaan jopa käyttää kodin sähkövarastona. Helsinki: Helsingin Sanomat. Julkaistu (17.7.2022 klo 18.33). Viitattu 21.11.2023. <https://www.hs.fi/talous/art-2000008946943.html>.

Motiva – valtion kestävän kehityksen yhtiö. 2023. Motiva Oy:n verkkosivu. Viitattu 21.10.2023. <https://www.motiva.fi/motiva>.

Mäntylä, J-M. 2022. Huoltovarmuuskeskus halusi jättää hiilivoimaa pahan päivän varalle, mutta piiput kaadettiin – tänä talvena niitä voi tulla ikävä. Helsinki: Yle. Julkaistu (10.12.2022 klo 17.04). Viitattu 22.1.2023. <https://yle.fi/a/3-12684225>.

Pientalon energiankulutus ja päästöt. 2016. Verkojulkaisu. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA. Viitattu 25.1.2023. https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/korjaustieto/pientalot/Energiatehokkuus/Energiatehokas_pientalo/Energiankulutus.

Pilkington Spectrum. N.d. Pilkingtonin työkalu ikkunoiden ominaisuuksien laskemiseksi. Viitattu 19.3.2023. <https://spectrum.pilkington.com/Main.aspx>.

Polttoaineiden arvonlisäverolliset kuluttajahinnat. 2023. Tilastokeskuksen maksuttomat tilastotietokannat. Viitattu 11.5.2023. https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/statfin_ehi_pxt_12ge.px/table/tableViewLayout1/.

Prices in Elspot pr hour – Helsinki. N.d. Tietokanta (vaatii lisenssin). Sähkön tuntikohtaiset pörssi hinnat. Nord Pool AS. Viitattu 13.3.2023.

Rakenteiden ja rakennusten elinkaaren hallinta. 2013. RIL 216-2013. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto. Viitattu 8.2.2023. <https://janet.finna.fi/>, Ellibs.

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivistä alustava sopu. 2023. Ympäristöministeriön tiedote valtioneuvoston internetsivulla. Viitattu 11.12.2023. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/rakennusten-energiatehokkuusdirektiivista-alustava-sopu>.

Rautiainen, A. 2015. Aspects of Electric Vehicles and Demand Response in Electricity Grids. Julkaisu 1327. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 21.11.2023. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-3615-1>.

RT 18-10922. 2008. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot. Helsinki: Rakennustietosäätiö. Viitattu 19.12.2022. <https://janet.finna.fi/>, RT-kortisto.

Ruusunen, J. 2022. Verkkajulkaisu. Fingridlehti.fi: Pitkä yhteistyö on tullut tiensä päähän. Helsinki: Fingrid. Julkaistu 1.6.2022. Viitattu 22.1.2023. <https://www.fingridlehti.fi/pitka-yhteistyö-on-tullut-tiensä-päahan/>.

Salakka, J. & Pylsy, P. N.d. Verkkajulkaisu Kiinteistöliiton edunvalvontasivulla. Viitattu 21.10.2023. <https://www.kiinteistoliitto.fi/kiinteistoliitto/edunvalvonta/energiatehokkuusdirektiivi/>.

SFS-EN ISO 6946:2017. Standardi. Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation methods. Aihealueet: Rakennustekniikka, energiatehokkuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Vahvistettu 4.8.2017. Viitattu 25.1.2023. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

ST 96.01. 2020. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien huolto- ja kunnossapito-ohjelmien laatiminen. Espoo: Sähköinfo. Laadittu 26.8.2020. Viitattu 8.2.2023. <https://janet.finna.fi/>, Severi.

Sähkön hintakatsaus 8.5.2023. 2023. Kopio Lumme Energian sähköisestä artikkelista Wayback Machine -palvelussa. Viitattu 30.11.2023. <https://web.archive.org/web/20230511082530/https://www.lumme-energia.fi/sahkon-hintakatsaus>.

Sähkön hintakatsaus 27.11.2023. 2023. Lumme Energian sähköinen artikkeli. Viitattu 30.11.2023. <https://www.lumme-energia.fi/sahkon-hintakatsaus>.

Sähkön hintakatsaus 11.12.2023. 2023. Lumme Energian sähköinen artikkeli. Viitattu 12.12.2023. <https://www.lumme-energia.fi/sahkon-hintakatsaus>.

P9_TA(2023)0068. 2023. Euroopan unionin parlamentin ehdotus rakennusten energiatehokkuus direktiiviksi. Viitattu 21.10.2023. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0068_FI.pdf.

Tanskanen, J. & Koponen, J. 2022. Olkiluoto 3:n uuden viivästymisen karut seuraukset: sähkölaskussa jopa 10 prosenttia korkeampi hinta, sähköä ei välttämättä riitä kylminä päivinä. Helsinki: Yle. Julkaistu (22.12.2022 klo 18.46). Viitattu 22.1.2023. <https://yle.fi/a/74-20009998>.

Verkkopalveluhinnasto, pienasiakkaat. N.d. Verkkajulkaisu. Elenia pienasiakkaiden verkkopalveluhinnasto 1.5.2023 alkaen. Viitattu 12.7.2023. <https://www.elenia.fi/files/2193c1240ac157cf770611a0c741cdec0734cbf2/elenia-pienasiakkaat-hinnasto-2023-fi.pdf>.

Virpi, M. 2015. Energialaskureiden vertailu. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Viitattu 19.4.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90905/Virpi_Mikko.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

2000-luvun sähkölämmitteisen pientalon energiaremontti. 2022. Motiva Oy:n verkkosivu. Viitattu 21.10.2023. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/remontoi_ja_huolla/pientalon_energiaremontit/2000-luvun_sahkolammitteisen_pientalon_energiaremontti.

2023 shatters climate records, with major impacts. 2023. Tiedote WMO:n internetsivuilla. Julkaistu 30.11.2023. Viitattu 11.12.2023. <https://wmo.int/news/media-centre/2023-shatters-climate-records-major-impacts>.

Liite 2. Aineiston muokkaamiseen ja analysointiin käytetty R-koodi

```

install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
install.packages("stringr")
library(stringr)
install.packages("readxl")
library(readxl)

# Luetaan kulutusdata "datan sijainti"
Y2018 <- read.csv2("datan sijainti", stringsAsFactors = FALSE)
Y2019 <- read.csv2("datan sijainti", stringsAsFactors = FALSE)
Y2020 <- read.csv2("datan sijainti", stringsAsFactors = FALSE)
Y2021 <- read.csv2("datan sijainti", stringsAsFactors = FALSE)
Y2022 <- read.csv2("datan sijainti", stringsAsFactors = FALSE)
PA_hinnat <- read.csv2("datan sijainti", stringsAsFactors = FALSE)

# Poistetaan lopusta turhat rivit
Y2018 <- head(Y2018,-1)
Y2019 <- head(Y2019,-1)
Y2020 <- head(Y2020,-1)
Y2021 <- head(Y2021,-1)
Y2022 <- head(Y2022,-1)

# Luetaan lämpötiladata #jos vektori menee char, niin tarkista ettei ole "-"
T2018 <- read.csv("datan sijainti", stringsAsFactors = FALSE)[,6]
T2019 <- read.csv("datan sijainti", stringsAsFactors = FALSE)[,6]
T2020 <- read.csv("datan sijainti", stringsAsFactors = FALSE)[,6]
T2021 <- read.csv("datan sijainti", stringsAsFactors = FALSE)[,6]
T2022 <- read.csv("datan sijainti", stringsAsFactors = FALSE)[,6]

# Poistetaan lopusta turhat rivit
T2018 <- head(T2018,-1)
T2019 <- head(T2019,-1)
T2020 <- head(T2020,-1)
T2021 <- head(T2021,-1)
T2022 <- head(T2022,-1)

# Lisätään lämpötilat (1/h) taulukkoon alkuperäisten lämpötilojen (1/vrk) paikalle
Y2018$Lampotila <- T2018
Y2019$Lampotila <- T2019
Y2020$Lampotila <- T2020
Y2021$Lampotila <- T2021
Y2022$Lampotila <- T2022

# Lisätään apusarake (1,2,3,4,.....)
Y2018$seq <- seq(1,length(Y2018$Aikavali),1)
Y2019$seq <- seq(1,length(Y2019$Aikavali),1)
Y2020$seq <- seq(1,length(Y2020$Aikavali),1)
Y2021$seq <- seq(1,length(Y2021$Aikavali),1)
Y2022$seq <- seq(1,length(Y2022$Aikavali),1)

# Lisätään tieto, että onko yösähkö ja kellonaika tunteina
yo_sahko <- function(Y_frame){
  yö_temp <- NULL
  tunti_temp <- NULL
  for(i in 1:length(Y_frame$Aikavali)){
    if(as.numeric(str_sub(Y_frame$Aikavali[i],-8,-7)) >= 22 || as.numeric(str_sub(Y_frame$Aikavali[i],-8,-7)) <=
6){

```

```

    yö_temp[i] <- 1
  }
  else{
    yö_temp[i] <- 0
  }
  tunti_temp[i] <- as.numeric(str_sub(Y_frame$Aikavali[i],-8,-7))
}
return(list(as.factor(yö_temp),as.factor(tunti_temp)))
}

Y2018$yotieto <- yo_sahko(Y2018)[[1]]
Y2018$kellonaika <- yo_sahko(Y2018)[[2]]

Y2019$yotieto <- yo_sahko(Y2019)[[1]]
Y2019$kellonaika <- yo_sahko(Y2019)[[2]]

Y2020$yotieto <- yo_sahko(Y2020)[[1]]
Y2020$kellonaika <- yo_sahko(Y2020)[[2]]

Y2021$yotieto <- yo_sahko(Y2021)[[1]]
Y2021$kellonaika <- yo_sahko(Y2021)[[2]]

Y2022$yotieto <- yo_sahko(Y2022)[[1]]
Y2022$kellonaika <- yo_sahko(Y2022)[[2]]

# Muutetaan datan muoto numeeriseksi
Y2018$Keskiteho_paiva <- as.numeric(gsub(",",".",Y2018$Keskiteho_paiva))
Y2019$Keskiteho_paiva <- as.numeric(gsub(",",".",Y2019$Keskiteho_paiva))
Y2020$Keskiteho_paiva <- as.numeric(gsub(",",".",Y2020$Keskiteho_paiva))
Y2021$Keskiteho_paiva <- as.numeric(gsub(",",".",Y2021$Keskiteho_paiva))
Y2022$Keskiteho_paiva <- as.numeric(gsub(",",".",Y2022$Keskiteho_paiva))

Y2018$Keskiteho_yo <- as.numeric(gsub(",",".",Y2018$Keskiteho_yo))
Y2019$Keskiteho_yo <- as.numeric(gsub(",",".",Y2019$Keskiteho_yo))
Y2020$Keskiteho_yo <- as.numeric(gsub(",",".",Y2020$Keskiteho_yo))
Y2021$Keskiteho_yo <- as.numeric(gsub(",",".",Y2021$Keskiteho_yo))
Y2022$Keskiteho_yo <- as.numeric(gsub(",",".",Y2022$Keskiteho_yo))

Y2018$Keskiteho <- as.numeric(gsub(",",".",Y2018$Keskiteho))
Y2019$Keskiteho <- as.numeric(gsub(",",".",Y2019$Keskiteho))
Y2020$Keskiteho <- as.numeric(gsub(",",".",Y2020$Keskiteho))
Y2021$Keskiteho <- as.numeric(gsub(",",".",Y2021$Keskiteho))
Y2022$Keskiteho <- as.numeric(gsub(",",".",Y2022$Keskiteho))

PA_hinnat$Moottoribensiini_95_E_10_snt_l <- as.numeric(PA_hinnat$Moottoribensiini_95_E_10_snt_l)
PA_hinnat$Dieseloljy_snt_l <- as.numeric(PA_hinnat$Dieseloljy_snt_l)
PA_hinnat$Kevyt_polttoljy_snt_l <- as.numeric(PA_hinnat$Kevyt_polttoljy_snt_l)

# Korvataan mahdolliset tyhjät -> 0
Y2018[is.na(Y2018)] <- 0
Y2019[is.na(Y2019)] <- 0
Y2020[is.na(Y2020)] <- 0
Y2021[is.na(Y2021)] <- 0
Y2022[is.na(Y2022)] <- 0

# Lisätään hintatieto jokaiselle tunnille
h2018 <- read_xlsx("datan sijainti", col_names = FALSE, range = "A7:Z371")
h2019 <- read_xlsx("datan sijainti", col_names = FALSE, range = "A8:Z372")
h2020 <- read_xlsx("datan sijainti", col_names = FALSE, range = "A9:Z374")
h2021 <- read_xlsx("datan sijainti", col_names = FALSE, range = "A7:Z371")
h2022 <- read_xlsx("datan sijainti", col_names = FALSE, range = "A7:Z371")

```

```

# Jokaiselle sarakkeelle nimi tunnin mukaan, huomaa kellonsiirtojen vaikutus.
c_name <- c("Date", as.character(c(1,2,3,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24)))

colnames(h2018) <- c_name
colnames(h2019) <- c_name
colnames(h2020) <- c_name
colnames(h2021) <- c_name
colnames(h2022) <- c_name

f_hinta <- function(h_table){
  hinta_temp <- NULL
  aikaleima <- NULL
  for(i in 1:length(h_table$Date)){
    for(j in 2:26){
      if(is.na(as.numeric(h_table[i,j])) == FALSE){
        hinta_temp <- append(hinta_temp,as.numeric(h_table[i,j])/10,after = length(hinta_temp))
        aikaleima <- append(aikaleima, paste(as.character(as.Date(h_table$Date[i])), as.character(names(h_table)[j])))
      }
    }
  }
  return(list(hinta_temp,aikaleima))
}

Y2018$hinta_c_kWh <- f_hinta(h2018)[[1]]
Y2019$hinta_c_kWh <- f_hinta(h2019)[[1]]
Y2020$hinta_c_kWh <- f_hinta(h2020)[[1]]
Y2021$hinta_c_kWh <- f_hinta(h2021)[[1]]
Y2022$hinta_c_kWh <- f_hinta(h2022)[[1]]

# Lisätään lukemiin alv
energia2018_alv <- sum(Y2018$Keskiteho*(Y2018$hinta_c_kWh+0.4))/100*1.24
energia2019_alv <- sum(Y2019$Keskiteho*(Y2019$hinta_c_kWh+0.4))/100*1.24
energia2020_alv <- sum(Y2020$Keskiteho*(Y2020$hinta_c_kWh+0.4))/100*1.24
energia2021_alv <- sum(Y2021$Keskiteho*(Y2021$hinta_c_kWh+0.4))/100*1.24
energia2022_alv <- sum(Y2022$Keskiteho*(Y2022$hinta_c_kWh+0.4))/100*1.24

# Vuosien yhteenlaskettu energia
sum(Y2018$Keskiteho)
sum(Y2019$Keskiteho)
sum(Y2020$Keskiteho)
sum(Y2021$Keskiteho)
sum(Y2022$Keskiteho)

# Keskimääräinen energia/vuosi
mean(c(sum(Y2018$Keskiteho),sum(Y2019$Keskiteho),sum(Y2020$Keskiteho),sum(Y2021$Keskiteho),sum(Y2022$Keskiteho)))

# keskihinta c/kWh kaikki vuodet
mean(c(mean(Y2018$hinta_c_kWh),mean(Y2019$hinta_c_kWh),mean(Y2020$hinta_c_kWh),mean(Y2021$hinta_c_kWh),mean(Y2022$hinta_c_kWh)))

# Aineiston keskitehon ja lämpötilan kuvailua
summary(Y2018$Keskiteho)
summary(Y2018$Lampotila)
summary(Y2019$Keskiteho)
summary(Y2019$Lampotila)
summary(Y2020$Keskiteho)
summary(Y2020$Lampotila)

```

```
summary(Y2021$Keskiteho)
summary(Y2021$Lampotila)
summary(Y2022$Keskiteho)
summary(Y2022$Lampotila)
```

```
# Huomattiin, että vuosina 2019 ja 2021 on ollut sähkökatkoja, eli minimitiho ollut 0
# Näille paikoille asetetaan "merkityksettömän pienet" arvot 0.000001 laskennallisista syistä (log(0) ei määri-
telty)
Y2019$Keskiteho[which(Y2019$Keskiteho %in% 0)] <- 0.000001
Y2021$Keskiteho[which(Y2021$Keskiteho %in% 0)] <- 0.000001
```

```
# Taulukot listaksi
```

```
Y_taulukot <- list(Y2018,Y2019,Y2020,Y2021,Y2022)
names(Y_taulukot) <- c("Y2018","Y2019","Y2020","Y2021","Y2022")
```

```
# Ikkunoiden vaikutuksen analyysin valmistelua:
```

```
I_Huone <-
c("MH1","MH2","MH2","MH3","MH3","MH4","WC1","VH1","K+R","K+R","OH","OH","OH","OH","KHH","LH","V
AR(AK)","VAR(TR)")
I_lev <- c(14,14,8,14,8,14,8,5,17,5,5,11,11,11,11,8,11,9)
I_kork <- c(14,14,14,14,14,14,6,6,14,12,16,16,16,16,12,6,4,9)
I_tark <- c("BO-E","BO-E","TIO-E","BO-E","TIV-E","BO-E","TIV-I","TIV","E4V/O","TIO-E","TIO-E TL","TIO-E
TL","TIO-E TL","TIO-E TL","B0-E","SK/TIV-I","TIA-E","-")
I_pa <- c(1:18)
U_i <- c(rep(1.24,17),2.5)
```

```
for(t in 1:length(I_pa)){
  I_pa[t] <- (I_lev[t]/10)*(I_kork[t]/10)
}
```

```
Ikkunat <- data.frame(I_Huone,I_lev,I_kork,I_pa,U_i,I_tark)
Ikkunat
```

```
# Lasien elementtien arvioidut koot
```

```
elementit_lev <-
c(418,418,349,287,749,287,568,568,568,568,649,649,649,568,568,349,949,949,949,349,568,568,649,750)
elementit_kork <-
c(1049,1049,1049,1249,1249,1249,1249,1249,1249,1249,1249,449,1249,1249,1249,449,1449,1449,1449,1
449,1249,1249,449,750)
elementit <- data.frame(elementit_lev,elementit_kork)
sum(elementit/1000*2)
```

```
# Rakennuksen vaipan johtumisenergian laskennan valmistelua:
```

```
# lasketut vaihtoehdot Ikkunoiden U-arvolle
U_vaiht <- c(1.24,0.88,0.64)
```

```
# vaihtoehtoiset lämpötilat
Lampo_vaiht <- c(21.5,19.5)
```

```
# Ikkunoiden pinta-ala aukkojen mukaan
```

```
Ikkuna_pa <- sum((I_kork[1:17]/10)*(I_lev[1:17]/10))
Ikkuna_pa_talo <- sum((I_kork[1:16]/10)*(I_lev[1:16]/10))
Ikkuna_pa_ak <- sum((I_kork[17]/10)*(I_lev[17]/10))
Ikkuna_pa_var <- sum((I_kork[18]/10)*(I_lev[18]/10))
```

```
# Ovien pinta-ala aukkojen mukaan
```

```
Ovi_pa_talo <- 1*2.1*3
Ovi_pa_ak <- 1*2.1
Ovi_pa_var <- 0.8*1.9
```

```

# Ulkoseinien pinta-ala (-ikkunat ja ovet)
US_pa_talo <- 8.8*2.6*2+17*2.6*2-lkkuna_pa_talo-Ovi_pa_talo
US_pa_ak <- 4.8*2.6*2+2.7*2.6*2-lkkuna_pa_ak-Ovi_pa_ak
US_pa_var <- 2.628*2.384*2+3.228*2.384*2-lkkuna_pa_var-Ovi_pa_var

# Yläpohja pinta-ala
YP_pa_talo <- 8.8*17
YP_pa_ak <- 4.8*2.7
YP_pa_var <- 2.628*3.228

# Alapohja pinta-ala
AP_pa_talo <- 8.8*17
AP_pa_ak <- 4.8*2.7
AP_pa_var <- 2.628*3.228

# Kylmäsiilat:
KS_us_yp_talo <- list(2*8.8+2*17,0.05) # kerroin psii_k: 0.05
KS_us_ap_talo <- list(2*8.8+2*17,0.1) # 0.1
KS_us_us_talo <- list(4*2.6,0.04) # 0.04
Ks_ikk_ov_talo <- list(sum((l_kork[1:16]*2/10)+(l_lev[1:16]*2/10))+(1*2+2.1*2)*3,0.04) # 0.04

KS_us_yp_ak <- list(2*4.8+2*2.7,0.05) # 0.05
KS_us_ap_ak <- list(2*4.8+2*2.7,0.01) # 0.1
KS_us_us_ak <- list(4*2.6,0.04) # 0.04
Ks_ikk_ov_ak <- list(sum((l_kork[17]*2/10)+(l_lev[17]*2/10))+(1*2+2.1*2),0.04) # 0.04

KS_us_yp_var <- list(2*2.628+2*3.228,0.3) # 0.3
KS_us_ap_var <- list(2*2.628+2*3.228,0.5) # 0.5
KS_us_us_var <- list(4*2.384,0.1) # 0.1
Ks_ikk_ov_var <- list(sum((l_kork[18]*2/10)+(l_lev[18]*2/10))+(0.8*2+1.9*2),0.2) # 0.2

# Ikkunoiden lämpöhäviö U-arvojen ja ulko- ja sisälämpötilojen perusteella
ikkunan_havio <- function(Y_table,U_val,Sisa_temp){
  Q_ikkuna <- 0
  Q_ikkuna_V <- NULL
  for(i in 1:length(Y_table$Lampotila)){
    if(Y_table$Lampotila[i]<Sisa_temp){
      K_temp <- abs(Sisa_temp-Y_table$Lampotila[i])
    }else{
      #ei viilennystä
      K_temp <- 0
    }
    Q_ikkuna <- Q_ikkuna+(U_val*ikkuna_pa*K_temp)/1000
    Q_ikkuna_V[i] <- (U_val*ikkuna_pa*K_temp)/1000
  }
  return(list(Q_ikkuna,Q_ikkuna_V))
}

# Kasataan ikkunoiden häviöt taulukoiksi vuosittain, laskettuna eri U-arvoilla ja sisälämpötiloilla
for(i in 1:length(Y_taulukot)){
  temp_frame <- data.frame()
  temp_nimi <- NULL
  for(j in 1:length(U_vaiht)){
    for(k in 1:length(Lampo_vaiht)){
      temp_frame[j,k] <- ikkunan_havio(Y_taulukot[[i]],U_vaiht[j],Lampo_vaiht[k]][[1]]
      temp_nimi <- paste("IH_",U_vaiht[j],"_T=",Lampo_vaiht[k],sep = "")
      Y_taulukot[[i]][[temp_nimi]] <- ikkunan_havio(Y_taulukot[[i]],U_vaiht[j],Lampo_vaiht[k]][[2]]
    }
  }
  colnames(temp_frame) <- c(paste(Lampo_vaiht,"°C",sep = " "))
  rownames(temp_frame) <- c(paste("U = ",U_vaiht,sep = " "))
}

```

```

assign(paste("Ikkuna_haviot",substr(names(Y_ taulukot[[i]],2,5),sep = "_"),temp_frame)
temp_frame <- data.frame()
}

Y2018 <- Y_ taulukot[[1]]
Y2019 <- Y_ taulukot[[2]]
Y2020 <- Y_ taulukot[[3]]
Y2021 <- Y_ taulukot[[4]]
Y2022 <- Y_ taulukot[[5]]

# Ikkunoiden häviöt euromääräiseksi
I_havio_hinta <- matrix(nrow = 6, ncol = 5)
for(i in 1:length(Y_ taulukot)){
  for(j in 10:15){
    I_havio_hinta[j-9,i] <- sum(Y_ taulukot[[i]][j]*Y_ taulukot[[i]]$hinta_c_kWh)/100
  }
}
I_havio_hinta <- as.data.frame(I_havio_hinta)
colnames(I_havio_hinta) <- names(Y_ taulukot)
rownames(I_havio_hinta) <- names(Y_ taulukot[[1]][10:15])

#Keskimääräiset häviöt alkupeärisillä ikkunoilla
(Ikkuna_haviot_2018[1,1]+Ikkuna_haviot_2019[1,1]+Ikkuna_haviot_2020[1,1]+Ikkuna_haviot_2021[1,1]+Ikkuna_haviot_2021[1,1])/5
(Ikkuna_haviot_2018[1,2]+Ikkuna_haviot_2019[1,2]+Ikkuna_haviot_2020[1,2]+Ikkuna_haviot_2021[1,2]+Ikkuna_haviot_2021[1,2])/5

(I_havio_hinta[1,1]-I_havio_hinta[3,1]+I_havio_hinta[1,2]-I_havio_hinta[3,2]+I_havio_hinta[1,3]-I_havio_hinta[3,3]+I_havio_hinta[1,4]-I_havio_hinta[3,4]+I_havio_hinta[1,5]-I_havio_hinta[3,5])/5
(I_havio_hinta[2,1]-I_havio_hinta[4,1]+I_havio_hinta[2,2]-I_havio_hinta[4,2]+I_havio_hinta[2,3]-I_havio_hinta[4,3]+I_havio_hinta[2,4]-I_havio_hinta[4,4]+I_havio_hinta[2,5]-I_havio_hinta[4,5])/5
(I_havio_hinta[1,1]-I_havio_hinta[5,1]+I_havio_hinta[1,2]-I_havio_hinta[5,2]+I_havio_hinta[1,3]-I_havio_hinta[5,3]+I_havio_hinta[1,4]-I_havio_hinta[5,4]+I_havio_hinta[1,5]-I_havio_hinta[5,5])/5
(I_havio_hinta[2,1]-I_havio_hinta[6,1]+I_havio_hinta[2,2]-I_havio_hinta[6,2]+I_havio_hinta[2,3]-I_havio_hinta[6,3]+I_havio_hinta[2,4]-I_havio_hinta[6,4]+I_havio_hinta[2,5]-I_havio_hinta[6,5])/5

# Teoreettinen energian johtuminen rakennuksen vaipasta ulos:
U_vec_nim <- c("US","YP","AP","IK","OVI")
U_vec_talo <- c(0.181,0.107,0.1734,1.24,1.4)
U_vec_var <- c(0.2282,0.107,0.2285,1.24,1.4)
U_vec_talous <- c(0.3383,0.1394,0.3470,2.5,0.955)

# Maahanrajoittuvan alapohjan lämpöhäviötä varten maan lämpö:
maa_ero_norm <- c(rep(0,744),rep(-1,672),rep(-2,743),rep(-3,720),rep(-3,744),rep(-2,720),rep(0,744),rep(1,744),rep(2,720),rep(3,745),rep(3,720),rep(2,744))
maa_ero_kark <- c(rep(0,744),rep(-1,696),rep(-2,743),rep(-3,720),rep(-3,744),rep(-2,720),rep(0,744),rep(1,744),rep(2,720),rep(3,745),rep(3,720),rep(2,744))

Qjoht <- function(Uvec, USpa, YPpa, APpa, Ipa, Opa, KSuy, KSua, KSuu, KSio, Ytaul, Lampo){
  tempsum <- 0
  for(i in 1 : length(Ytaul$Lampotila)){
    if(length(Ytaul$Lampotila > 8760)){
      tempsum <- tempsum + Uvec[1]*USpa*(Lampo-Ytaul$Lampotila[i]) +
        Uvec[2]*YPpa*(Lampo-Ytaul$Lampotila[i]) +
        Uvec[3]*APpa*(Lampo-(Ytaul$Lampotila[i] + maa_ero_kark[i])) +
        Uvec[4]*Ipa*(Lampo-Ytaul$Lampotila[i]) +
        Uvec[5]*Opa*(Lampo-Ytaul$Lampotila[i]) +
        KSuy[[1]]*KSuy[[2]]*(Lampo-Ytaul$Lampotila[i]) +
        KSua[[1]]*KSua[[2]]*(Lampo-Ytaul$Lampotila[i]) +
        KSuu[[1]]*KSuu[[2]]*(Lampo-Ytaul$Lampotila[i]) +
        KSio[[1]]*KSio[[2]]*(Lampo-Ytaul$Lampotila[i])
    }
  }
}

```

```

}else{
  tempsum <- tempsum + Uvec[1]*USpa*(Lampo-Ytaul$Lampotila[i]) +
  Uvec[2]*YPPa*(Lampo-Ytaul$Lampotila[i]) +
  Uvec[3]*APpa*(Lampo-(Ytaul$Lampotila[i] + maa_ero_norm[i])) +
  Uvec[4]*Ipa*(Lampo-Ytaul$Lampotila[i]) +
  Uvec[5]*Opa*(Lampo-Ytaul$Lampotila[i]) +
  KSuy[[1]]*KSuy[[2]]*(Lampo-Ytaul$Lampotila[i]) +
  KSua[[1]]*KSua[[2]]*(Lampo-Ytaul$Lampotila[i]) +
  KSuu[[1]]*KSuu[[2]]*(Lampo-Ytaul$Lampotila[i]) +
  KSio[[1]]*KSio[[2]]*(Lampo-Ytaul$Lampotila[i])
}
}
return(tempsum/1000)
}

# Johtumishäviöt rakennuksesta eri sisälämpötiloilla:
TALOjoht <- matrix(nrow=3,ncol=length(Y_taulukot))
for(i in 1:length(Y_taulukot)){
  for(j in 1:2){
    TALOjoht[j,i] <- Qjoht(U_vec_talo, US_pa_talo, YP_pa_talo, AP_pa_talo, Ikkuna_pa_talo,+
    Ovi_pa_talo, KS_us_yp_talo, KS_us_ap_talo, KS_us_us_talo, Ks_ikk_ov_talo, Y_taulu-
    kot[[i]], Lampo_vaiht[j])
  }
  TALOjoht[3,i] <- TALOjoht[1,i]-TALOjoht[2,i]
}
colnames(TALOjoht) <- names(Y_taulukot)
rownames(TALOjoht) <- c(paste(as.character(Lampo_vaiht), " ", "°C"),"ero")

# Sähkösovimuksen painotettu keskihinta:
sum(Y2018$Keskiteho*Y2018$hinta_c_kWh)/sum(Y2018$Keskiteho)
sum(Y2019$Keskiteho*Y2019$hinta_c_kWh)/sum(Y2019$Keskiteho)
sum(Y2020$Keskiteho*Y2020$hinta_c_kWh)/sum(Y2020$Keskiteho)
sum(Y2021$Keskiteho*Y2021$hinta_c_kWh)/sum(Y2021$Keskiteho)
sum(Y2022$Keskiteho*Y2022$hinta_c_kWh)/sum(Y2022$Keskiteho)

mean(Y2018$hinta_c_kWh)
mean(Y2019$hinta_c_kWh)
mean(Y2020$hinta_c_kWh)
mean(Y2021$hinta_c_kWh)
mean(Y2022$hinta_c_kWh)

# futuurit 8.5.2023
mean(c(3.83,3.97,5.67,6.69,5.97,9.30,8.84,11.78,11.78,11.78,7.07,7.07,7.07,4.56,4.56,4.56,7.73,7.73,7.73,1
0.78,10.78,10.78,5.72,5.72,5.72))

# futuurit 27.11.2023
mean(c(11.72,11.38,12,9.7,8.04,5.93,6.36,5.27,5.27,7.55,7.55,7.55,8.73,8.73,8.73,4.47,4.47,4.47,3.55,3.55,
3.55,6.23,6.23))
# futuurit 11.12.2023
mean(c(11.01,11.96,10.2,8.92,6.57,5.27,5.46,5.46,5.46,8,8,8.99,8.99,8.99,4.56,4.56,4.56,3.38,3.38,3.38,5.
95,5.95,5.95))

# Säästö energian siirto hinnassa (Elenia 1.5.2023 alk.):
# Päiväsiirto 7,12 c/kWh ja yö 5,43 c/kWh
yo_osuus2018_088 <- sum(Y2018$IH_U=0.88_T=19.5`[which(Y2018$yotieto==1)])
yo_osuus2019_088 <- sum(Y2019$IH_U=0.88_T=19.5`[which(Y2019$yotieto==1)])
yo_osuus2020_088 <- sum(Y2020$IH_U=0.88_T=19.5`[which(Y2020$yotieto==1)])
yo_osuus2021_088 <- sum(Y2021$IH_U=0.88_T=19.5`[which(Y2021$yotieto==1)])
yo_osuus2022_088 <- sum(Y2022$IH_U=0.88_T=19.5`[which(Y2022$yotieto==1)])

```

```
# paiva_osuus2018_088 <- sum(Y2018$`IH_U=0.88_T=19.5`[which(Y2018$yotieto==0)])
# paiva_osuus2019_088 <- sum(Y2019$`IH_U=0.88_T=19.5`[which(Y2019$yotieto==0)])
# paiva_osuus2020_088 <- sum(Y2020$`IH_U=0.88_T=19.5`[which(Y2020$yotieto==0)])
# paiva_osuus2021_088 <- sum(Y2021$`IH_U=0.88_T=19.5`[which(Y2021$yotieto==0)])
# paiva_osuus2022_088 <- sum(Y2022$`IH_U=0.88_T=19.5`[which(Y2022$yotieto==0)])
```

```
yo_siirto_osuus2018_088 <- yo_osuus2018_088/sum(Y2018$`IH_U=0.88_T=19.5`)
yo_siirto_osuus2019_088 <- yo_osuus2019_088/sum(Y2019$`IH_U=0.88_T=19.5`)
yo_siirto_osuus2020_088 <- yo_osuus2020_088/sum(Y2020$`IH_U=0.88_T=19.5`)
yo_siirto_osuus2021_088 <- yo_osuus2021_088/sum(Y2021$`IH_U=0.88_T=19.5`)
yo_siirto_osuus2022_088 <- yo_osuus2022_088/sum(Y2022$`IH_U=0.88_T=19.5`)
```

```
yo_osuus2018_064 <- sum(Y2018$`IH_U=0.64_T=19.5`[which(Y2018$yotieto==1)])
yo_osuus2019_064 <- sum(Y2019$`IH_U=0.64_T=19.5`[which(Y2019$yotieto==1)])
yo_osuus2020_064 <- sum(Y2020$`IH_U=0.64_T=19.5`[which(Y2020$yotieto==1)])
yo_osuus2021_064 <- sum(Y2021$`IH_U=0.64_T=19.5`[which(Y2021$yotieto==1)])
yo_osuus2022_064 <- sum(Y2022$`IH_U=0.64_T=19.5`[which(Y2022$yotieto==1)])
# paiva_osuus2018_064 <- sum(Y2018$`IH_U=0.64_T=19.5`[which(Y2018$yotieto==0)])
# paiva_osuus2019_064 <- sum(Y2019$`IH_U=0.64_T=19.5`[which(Y2019$yotieto==0)])
# paiva_osuus2020_064 <- sum(Y2020$`IH_U=0.64_T=19.5`[which(Y2020$yotieto==0)])
# paiva_osuus2021_064 <- sum(Y2021$`IH_U=0.64_T=19.5`[which(Y2021$yotieto==0)])
# paiva_osuus2022_064 <- sum(Y2022$`IH_U=0.64_T=19.5`[which(Y2022$yotieto==0)])
```

```
yo_siirto_osuus2018_064 <- yo_osuus2018_064/sum(Y2018$`IH_U=0.64_T=19.5`)
yo_siirto_osuus2019_064 <- yo_osuus2019_064/sum(Y2019$`IH_U=0.64_T=19.5`)
yo_siirto_osuus2020_064 <- yo_osuus2020_064/sum(Y2020$`IH_U=0.64_T=19.5`)
yo_siirto_osuus2021_064 <- yo_osuus2021_064/sum(Y2021$`IH_U=0.64_T=19.5`)
yo_siirto_osuus2022_064 <- yo_osuus2022_064/sum(Y2022$`IH_U=0.64_T=19.5`)
```

```
Ka_yosiirto <-
```

```
mean(c(yo_siirto_osuus2018_088,yo_siirto_osuus2019_088,yo_siirto_osuus2020_088,yo_siirto_osuus2021_088,yo_siirto_osuus2022_088))
```

```
# Häviöt yöaikaan ovat noin 42% kaikista ikkunahäviöistä, vrt. puhtaasti yö/päivä sähkön aikataulut -> 37,5%.
```

```
# Säästö siirrossa päivällä:
```

```
(3635-2580)*(1-Ka_yosiirto)*7.12/100+
```

```
# yöllä:
```

```
(3635-2580)*(Ka_yosiirto)*5.43/100
```

```
#Säästö siirrossa päivällä:
```

```
(3635-1876)*(1-Ka_yosiirto)*7.12/100+
```

```
# yöllä:
```

```
(3635-1876)*(Ka_yosiirto)*5.43/100
```

```
# Mahdollinen oman energian tuotto varavoimakoneella:
```

```
# 18 kVA diesel generaattori 7490
```

```
# max jatkuva 16 kVA 13 kW tankki 25 l täydellä teholla tankki kestää 8 h
```

```
kulutus <- 25/8
```

```
po_khinta <- 1.40011# 1.28 €/l 05/2023 stat.fi Nesteen hinta 16.7.2023
```

```
gen_elinika <- 7490/130000 # oletetaan 10000 h elinikä generaattorille -> eliniän totaalityttö 130000 kWh
```

```
gen_kWh_hinta <- (kulutus*po_khinta/13+gen_elinika)*100
```

```
iso_hinta <- c()
```

```
iso_kWh <- c()
```

```
gen_saasto <- c()
```

```
v <- 1
```

```
for(j in 1:length(Y_taulukot)){
```

```
  for(i in 1:length(Y_taulukot[[j]]$hintac_kWh)){
```

```
    if(Y_taulukot[[j]]$hintac_kWh[i] > gen_kWh_hinta){
```

```
      iso_hinta <- c(iso_hinta,paste(names(Y_taulukot[[j]],Y_taulukot[[j]]$Aikavali[i],as.character(Y_taulukot[[j]]$hintac_kWh[i]),sep = ","))
```

```
      iso_kWh <- c(iso_kWh,Y_taulukot[[j]]$Keskiteho[i])
```

```
      if(Y_taulukot[[j]]$yotieto[i] == 1){
```

```

    gen_saasto[v] <- Y_taulukot[[j]]$Keskiteho[i]*(Y_taulukot[[j]]$hinta_c_kWh[i]-gen_kWh_hinta+5.43)/100
  }else{
    gen_saasto[v] <- Y_taulukot[[j]]$Keskiteho[i]*(Y_taulukot[[j]]$hinta_c_kWh[i]-gen_kWh_hinta+7.12)/100
  }
  v <- v+1
}
if(Y_taulukot[[j]]$Keskiteho[i] < 0.01){
  iso_hinta <- c(iso_hinta,paste("katko",names(Y_taulukot[j]),Y_taulukot[[j]]$Aikavali[i],as.character(Y_taulukot[[j]]$Keskiteho[i]),sep = ";")) }
}
}
v <-1
sum(gen_saasto)
sum(gen_saasto)/length(gen_saasto)
iso_hinta
mean(iso_kWh)
median(iso_kWh)
max(iso_kWh)

# Lämpötilojen keskiarvot yö/päivä
c_t <- NULL
for(f in 1:length(Y_taulukot)){
  c_t[f] <- mean(Y_taulukot[[f]]$Lampotila[Y_taulukot[[f]]$yotieto==0])-mean(Y_taulukot[[f]]$Lampotila[Y_taulukot[[f]]$yotieto==1])
}
mean(c_t)

# Maksimi päivittäinen energiamäärä (Arvio, ei huomioi kellonsiirtoja!)
for(g in 1:length(Y_taulukot)){
  tempvec <- NULL
  tempvec <- unname(tapply(Y_taulukot[[g]]$Keskiteho, (seq_along(Y_taulukot[[g]]$Keskiteho)-1) %/% 24, sum))
  print(max(tempvec))
}

# Kalleimmat tunnit keskimäärin (koska olisi edullisinta ladata ja purkaa sähköauton akkua)
charge_t <- data.frame()
rownames(charge_t) <- names(Y_taulukot)
colnames(charge_t) <- c(0:23)
tunteja <- 12
charge_tu <- matrix(nrow = length(Y_taulukot),ncol = tunteja, dimnames = list(names(Y_taulukot),c(1:tunteja)))
charge_tl <- matrix(nrow = length(Y_taulukot),ncol = 24-tunteja, dimnames = list(names(Y_taulukot),c(1:tunteja)))
for(f in 1:length(Y_taulukot)){
  for(g in 0:23){
    charge_t[f,g+1] <- mean(Y_taulukot[[f]]$hinta_c_kWh[Y_taulukot[[f]]$kellonaika==g])
  }
  lst <- sort(as.numeric(unlist(charge_t[f,])), index.return=TRUE, decreasing=TRUE)
  charge_tu[f,] <- sort(lapply(lst, `[`, lst$x %in% head(unique(lst$x),tunteja))$ix-1#, decreasing = FALSE)
  charge_tl[f,] <- sort(lapply(lst, `[`, lst$x %in% tail(unique(lst$x),tunteja))$ix-1, decreasing = FALSE)
}

# Kalleimpien tuntien säästö
# Jäljellä oleva energia työmatkojen jälkeen
# Päiväsiirto 7,12 c/kWh ja yö 5,43
j_e <- (0.8*400-40-0.3*400)/400*55
j_a <- 40/400*55
s_ero <-7.12-5.43
energiasumma <- matrix(nrow = 5, ncol = 366, dimnames = list(names(Y_taulukot),NULL))
for(f in 1:length(Y_taulukot)){
  j <- 1

```

```

for(g in 1:(length(Y_ taulukot[[f]][,1])/24)){
  energiasumma[f,g] <- sum(Y_ taulukot[[f]]$Keskiteho[Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==17 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==18 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==19 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==20][j:(j+3)])
  j <- j+4
}
print(max(energiasumma[f,], na.rm = TRUE))
}

# Säätetty euromäärä
hintasumma <- c()
for(f in 1:length(Y_ taulukot)){
  temp_vec1 <- Y_ taulukot[[f]]$Keskiteho[Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==17 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==18 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==19 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==20]
  temp_vec2 <- Y_ taulukot[[f]]$hinta_c_kWh[Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==17 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==18 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==19 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==20]
  temp_vec3 <- Y_ taulukot[[f]]$Keskiteho[Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==22 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==23 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==0 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==1 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==2 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==3 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==4 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==5 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==6]
  temp_vec4 <- Y_ taulukot[[f]]$hinta_c_kWh[Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==22 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==23 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==0 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==1 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==2 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==3 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==4 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==5 | Y_ taulukot[[f]]$kellonaika==6]
  temp_hinta <- c()
  j <- 1
  k <- 1
  for(g in 1:(length(temp_vec1)/4)){
    if(sum(temp_vec1[j:(j+3)]) <= j_e){
      temp_hinta[g] <- sum(temp_vec1[j:(j+3)]*weighted.mean(temp_vec1[j:(j+3)],temp_vec2[j:(j+3)])-weighted.mean(rep((sum(temp_vec1[j:(j+3)])+j_a)/9,9),temp_vec4[k:(k+8)]*(sum(temp_vec1[j:(j+3)])+j_a)+s_ero*(sum(temp_vec1[j:(j+3)])+j_a) #poistettu temp_vec3[k:(k+8)]+
    }else{
      temp_hinta[g] <- j_e*weighted.mean(temp_vec1[j:(j+3)],temp_vec2[j:(j+3)])-weighted.mean(rep((j_e+j_a)/9,9),temp_vec4[k:(k+8)]*(j_e+j_a)+s_ero*(j_e+j_a) #poistettu temp_vec3[k:(k+8)]+
    }
    j <- j+4
    k <- k+9
  }
  temp_hinta <- sum(temp_hinta)
  hintasumma[f] <- temp_hinta/100
}
hintasumma

```