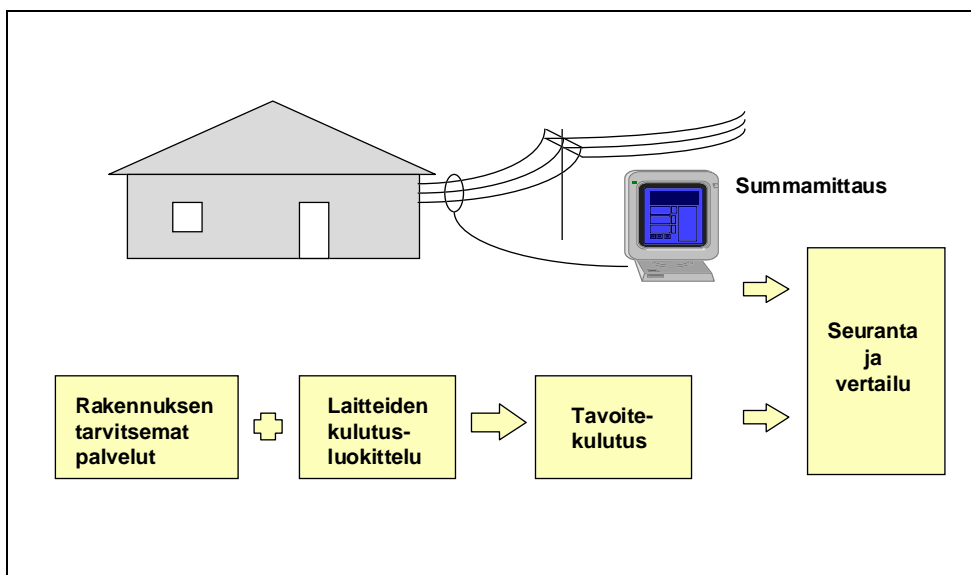


Rakennuksen sähköenergiankulutuksen tavoitearvot

Jari Shemeikka, Risto Kosonen, Patrick Hoving & Päivi Laitila
VTT Rakennustekniikka

Hannu Pihala
VTT Energia

Tuomas Laine
Ins.tsto Olof Granlund Oy



ISBN 951-38-4911-2
ISSN 1235-0605
Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1996

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (90) 4561, telekopio 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (90) 4561, telefax 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT,
Finland
phone internat. + 358 0 4561, telefax + 358 0 456 4374

Tekninen toimitus Kerttu Tirronen

Shemeikka, Jari; Kosonen, Risto; Hoving, Patrick; Laitila, Päivi; Pihala, Hannu & Laine, Tuomas. Rakennuksen sähköenergiankulutuksen tavoitearvot [Targeting values for building electric energy consumption]. Espoo 1996, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes 1756. 123 s. + liitt. 9 s

UDK 697:621.3.08:69.003.1

Avainsanat energy saving, targeting values, electric appliances, electric energy, HVAC, heating, buildings, electricity consumption, non intrusive appliance load monitoring, undirect effects of electric energy, cooling

TIIVISTELMÄ

Sähköenergian kulutusarvioita laadittaessa ja kulutuksia seurattaessa käytetään yleisesti tunnuslukua, jossa kulutus jaetaan rakennustilavuudella. Tämä tunnusluku kuvaa huonosti rakennuksen sähköenergiatehokkuutta, koska kulutukseen vaikuttavat oleellisesti varustetaso ja toiminta. Tässä tutkimuksessa määriteltiin rakennuksen eri laiteryhmillä kulutusluokittelut, joissa laiteryhmiä luokiteltiin niiden tuottamaa palveluyksikköä kohti. Luokittelut jaettiin seitsemään eri tasoon A:sta G:hen. Taso A edustaa energiaa säästävää tekniikkaa ja taso G energiaa tuhlaavaa. Kun tunnetaan rakennuksen varustetaso ja sen tarvitsemat palvelut sekä laiteryhmiä luokitellut, voidaan sähkön kokonaiskulutuksen tavoitearvo laskea.

Tutkimuksessa kehitettiin sähkölaitteiden kulutusseurantaan summamittausmenetelmää, jolla erillisten laiteryhmiä kulutuksia voidaan seurata rakennuksen sähköpääkeskuksesta ilman erillistä laitekohtaista mittarointia. Seurannalla voidaan todentaa rakennuksen ja laiteryhmiä todellinen energiatehokkuus.

Sähkökuormien välillisiä vaikutuksia rakennusten lämmitykseen tarkasteltiin laskennallisilla ja tilastollisilla analyyseillä. Tehontarvetarkasteluissa havaittiin, että sähkökuormilla ei ole merkittävästi vaikutusta lämmitystehoon kuormien ja huipputehon eriaikaisuuden vuoksi. Energialaskelmissa havaittiin, että korkea kuormitustaso pienentää sähkökuormien hyödyntämisastetta. Nykypäivän rakennuksissa laskennallinen sähkökuormien hyödynnettävyys lämmityksessä on asuinrakennuksissa noin 0,45 - 0,50 kWh_{lämpö}/kWh_{sähkö} sekä toimistorakennuksissa noin 0,25 - 0,45 kWh_{lämpö}/kWh_{sähkö}.

Tilastollisissa analyyseissä havaittiin, että toimistorakennuksissa sähkökuormien hyväksikäyttöaste lämmityksessä oli 0,22-0,76 kWh_{lämpö}/kWh_{sähkö}. Asuinrakennuksissa sähkön- ja lämmönkulutuksen välinen riippuvuus ei ollut tilastollisesti löydettävissä.

Tutkimuksessa tarkasteltiin sähkölaitekuormien välillisiä vaikutuksia ilmastoinnin jäähdytyslaitteiden mitoitukseen ja sitä kautta sekä ilmastoinnin tehontarpeeseen että energiankulutukseen. Toimistolaitekuormien välillinen vaikutus ilmastoinnin kokonaistehontarpeeseen on 0,40-0,50 W_{jäähd}/W_{sähkö} toimistolaiteiden sähkötehon muutoksesta. Ilmastoinnin jäähdytyksen sähköenergiankulutus kasvaa välillisesti yli 0,20 kWh_{jäähd}/kWh_{sähkö} toimistolaitekuorman lisäyksestä.

Shemeikka, Jari; Kosonen, Risto; Hoving, Patrick; Laitila, Päivi; Pihala, Hannu & Laine, Tuomas. Rakennuksen sähköenergiankulutuksen tavoitearvot [Targeting values for building electric energy consumption]. Espoo 1996, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes 1756. 123 p. + app. 9 p.

UDK 697:621.3.08:69.003.1

Avainsanat energy saving, targeting values, electric appliances, electric energy, HVAC, heating, buildings, electricity consumption, non intrusive appliance load monitoring, undirect effects of electric energy, cooling

ABSTRACT

There is generally used a statistic parameter in the buildings for electric energy consumptions, where the consumption value is divided by the volume of the building. This parameter describes poorly the electric efficiency of the building, because the electric energy consumption is influenced essentially by the amount of electric appliances and the activity level in the building. This report presents rating values for the different electric appliances in the building. The rating values were normalized to service unit of the electric appliance. The rating values were divided to seven different levels from A to G, where A means the energy efficient and G means the energy wasting consumption. After determining the amount of services needed in the building, the total electric energy consumption of the building can be calculated.

A non intrusive appliance load monitoring system were developed for the electric energy consumption monitoring. This system can measure consumption values of the electric appliances from the main distribution board of the building without individual metering. The actual electric energy efficiency of the building and appliances can be verified by the monitoring.

The undirect effects of the electric energy to the building heating were studied both computational and statistically analyses. The electric loads didn't have very good significance for reducing the design heating power of the building, because the heating peak power and the gains are not normally simultaneous in the office buildings. In the heating energy level, the loads have some significance. The calculated electric energy utilize coefficient in heating was 0,45 - 0,50 $\text{kWh}_{\text{electric}}/\text{kWh}_{\text{heating}}$ for the residential buildings and 0,25 - 0,45 $\text{kWh}_{\text{electric}}/\text{kWh}_{\text{heating}}$ for the office buildings.

The statistical analyses, which were made during the research, found out that, the electric energy utilize coefficient in heating was in average 48% for the office buildings. Statistical significance between the electric loads and heating energy consumption for residential buildings were not found.

The undirect effects of the electric energy to the design of the building cooling system and to the power demand and the energy consumption of the air conditioning system were studied. The undirect effect of increasing the electric power of the office appliances increases the total power demand of the air conditioning system 40-50% of the appliance power change. The cooling electric energy use increases over 20% of the appliance electric energy increase.

ALKUSANAT

Tämä on kaksivuotisen (1994-95) RAKET- projektin " Rakennusten sähköenergian kulutuksen tavoitearvot " loppuraportti.

Tutkimuksen kokonaistavoitteena oli kehittää menetelmä sähkölaiteryhmittäisten tavoitekulutusarvojen määrittämiseen ja sähkökuormien tunnistamiseen summamittauksella. Lisäksi tutkittiin sähkökulutuksen aiheuttamia välillisiä vaikutuksia lämmitykseen ja jäähdytykseen. Menetelmän avulla rakennuksen sähkön käytön optimaalinen ominaiskulutusarvo voidaan määrittää ja myös mitata. Tutkimuksessa koottiin olemassa olevaa tutkimustietoa eri sähkölaiteryhmien kulutuksesta ja energiansäästömahdollisuuksista sekä suoritettiin tarpeen mukaisesti sähkölaiteryhmien mittauksia. Eri laiteryhmiä energiansäästömahdollisuuksia selvitettiin nykytekniikan ja tiedossa olevan uuden teknologian pohjalta sekä esitettiin kulutuksille tavoitearvoja.

Projektiryhmään kuuluivat tutkijat Päivi Laitila (vuoden 1994 loppuun), Jari She-meikka (vuoden 1995 alusta) ja Patrick Hoving (vuoden 1995 alusta) VTT Rakennustekniikasta. VTT Rakennustekniikan osuuteen kuului määrittellä IV-puhaltimien, pumppujen ja kylmälaitteiden luokittelut sekä tarkastella sähkökuormien välillisiä vaikutuksia rakennusten lämmitykseen. Hannu Pihala VTT Energiasta kehitti summamittausmenetelmää. Toimistolaitteiden ja sairaalalaitteiden tarkastelut sekä sähkökuormien välillisten vaikutusten analyysit rakennusten jäähdytykseen teki Tuomas Laine Ins.tsto Olof Granlund Oy:sta. Tilastolliset analyysit sähkönkäytön vaikutuksista rakennusten lämmitykseen teki dipl.ins. Reijo Kara Tmi Reijo Kara :sta.

Projektipäällikkönä toimi erikoistutkija Risto Kosonen VTT Rakennustekniikasta

Tutkimuksen tukiryhmään kuuluivat

Seppo Torvinen,	ICL Data Oy
Ismo Manninen,	Halton Oy
Pekka Andersson,	Hackman Meka Oy
Ilpo Simola,	Imatran Voima Oy
Heikki Härkönen,	Motiva
Hannu Hertti,	Huurre Group Oy
Rainer Keto,	Hackman Metos Oy
Berndt Schalin,	Helvar Oy
Ilkka Kinosmaa,	Eltekno Oy
Antti Juva,	Suomen Sähkölaitosyhdistys ry.
Ilkka Myllymäki,	Kolmeks Oy
Jukka Vierros,	Helsingin kaupungin rakennusvirasto
Kari Kaleva,	Ins.tsto Olof Granlund Oy.

Projektiryhmä haluaa kiittää kaikkia tukiryhmän jäseniä arvokkaista kommentteista ja neuvoista tutkimuksen aikana.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
SISÄLLYSLUETTELO.....	6
1 SÄHKÖENERGIAN KULUTUS RAKENNUKSISSA	9
2 ERI LAITERYHMIEN SÄHKÖNKULUTUS	14
2.1 JOHDANTO	14
2.2 PUHALTIMIEN SÄHKÖNKÄYTTÖ.....	17
2.2.1 Puhaltimien ominaiskulutuksen tunnusluvut.....	17
2.2.2 Puhaltimen suunnitteluratkaisun vaikutus energiankulutukseen....	18
2.2.3 Puhaltimen ominaisuudet	20
2.2.4 Säästömahdollisuudet	23
2.3 PUMPUT	24
2.3.1 Pumpun ominaiskulutuksen tunnusluvut.....	24
2.3.2 Suunnitteluratkaisun vaikutus pumppujen energiankulutukseen ...	25
2.3.3 Pumpun ominaisuuksien vaikutus	25
2.3.4 Säästömahdollisuudet	29
2.4 KYLMÄLAITTEET	30
2.4.1 Kylmälaitteiden ominaiskulutuksen tunnusluvut	31
2.4.2 Suunnitteluratkaisun vaikutus	33
2.4.3 Laiteominaisuuksien vaikutus	37
2.4.4 Säästömahdollisuudet	40
2.5 VALAISTUS	42
2.5.1 Valaistuksen ominaissähkönkulutus	43
2.5.2 Suunnitteluratkaisun vaikutus	43
2.5.3 Laiteominaisuuksien vaikutus	47
2.5.4 Säästömahdollisuudet	48
2.6 TOIMISTOLAITTEET	49
2.6.1 Näytöt.....	50
2.6.2 Mikrotietokoneet.....	53
2.6.3 Kirjoittimet	56
2.6.4 Muut toimistolaitteet	58
2.7 KEITTIÖLAITTEET	60
2.7.1 Keittiöiden ominaissähkönkulutus	64
2.7.2 Keittiötyypin vaikutus	64
2.7.3 Tunnelipesukoneen sähkönkulutus	65
2.7.4 Säästömahdollisuudet	66
2.8 MUUT KIINTEISTÖJEN KONEET JA LAITTEET.....	67
2.8.1 Sairaalalaitteet.....	67

2.8.2 Sulanapitolämmitykset	69
2.8.3 Saattolämmitykset	70
3 MENETELMÄ SÄHKÖLAITTEIDEN KULUTUSSEURANTAAN	71
3.1 YLEISTÄ.....	71
3.2 MITTAUSJÄRJESTELY	72
3.2.1 Mittausmenetelmän periaatteet.....	72
3.2.2 Mittausjärjestelmä.....	73
3.2.3 Analysointi-algoritmien pääperiaate	74
3.3 DEMONSTRAATIOKOHTTEIDEN TULOKSET.....	76
3.3.1 Omakotitalo.....	76
3.3.2 Koemittaukset liikerakennuksessa ja päiväkodissa.....	79
3.4. YHTEENVETO.....	80
4 EHDOTUS KULUTUSLUOKITTELUKSI	82
4.1 KULUTUSLUOKITTELUN KUVAUS	82
4.2 PUHALTIMET	82
4.3 PUMPUT	84
4.4 KYLMÄLAITTEET	85
4.5 VALAISTUS.....	88
4.6 TOIMISTOLAITTEET	89
4.6.1 Näytöt.....	89
4.6.2 Mikrotietokoneet.....	89
4.6.3 Kirjoittimet.....	90
4.7 KEITTIÖLAITTEET.....	91
4.8 MUUT KIINTEISTÖJEN KONEET JA LAITTEET.....	91
4.9 RAKENNUSTASON KULUTUSLUOKITTELU.....	92
5 SÄHKÖKUORMIEN VAIKUTUS RAKENNUKSEN LÄMMITYKSEEN	94
5.1 SÄHKÖKUORMIEN VAIKUTUS LÄMMITYSTEHDON MITOITUKSEEN ⁹⁴	
5.2 SÄHKÖKUORMIEN VAIKUTUS LÄMMITYSENERGIAN	
KULUTUKSEEN	96
5.2.1 Laskennallinen sähkökuormien hyväksikäyttöaste.....	96
5.2.2 Tilastollinen hyväksikäyttöaste kulutustiedoissa.....	101
5.2.3 Sähkökuormien vaikutus eri ikäisissä rakennuksissa	102
6 SÄHKÖKUORMIEN VAIKUTUS RAKENNUKSEN JÄÄHDYTYKSEEN ...	105
6.1 SÄHKÖKUORMIEN VAIKUTUS JÄÄHDYTYSTEHDON	
MITOITUKSEEN.....	105
6.1.1 Toimistolaitteet.....	105
6.1.2 Keittiölaitteet.....	108
6.2 SÄHKÖKUORMIEN VAIKUTUS JÄÄHDYTYSENERGIAN	
KULUTUKSEEN	112
6.2.1 Toimistolaitteet.....	112
6.2.2 Keittiölaitteet.....	113
7 YHTEENVETO.....	117

LIITTEET

LIITE 1. SUURKEITTIÖTYYPIT

LIITE 2. CEN-LASKENTAMENETELMÄN SOVELTAMINEN TOIMISTORAKENNUKSIIN

LIITE 3. SUMMAMITTAUSMENETELMÄN LAITTEISTO

LIITE 4. TOIMISTORAKENNUKSEN KULUTUSLUOKITTELUN LASKENTA

LIITE 5. ASUINKERROSTALON KULUTUSLUOKITTELUN LASKENTA

LIITE 6. ASUINPIENTALON KULUTUSLUOKITTELUN LASKENTA

1 SÄHKÖENERGIAN KULUTUS RAKENNUKSISSA

Sähköenergian kokonaiskulutus oli v. 1990 Suomessa 62.5 TWh (häviötön kulutus 59,3 TWh). Energiassa rakennuksien sähköenergian kulutus on noin 26 - 30 TWh. Kulutuksen jakauma pääkuluttajiin ja kulutuskehitys on esitetty taulukossa 1 /6/. Kulutuksen kasvuvauhti on ollut 1980-luvulla 58 %.

Taulukko 1. Kulutuksen jakauma ja kulutuskehitys.

	Kulutus 1990 TWh	Kulutus 1990 %	Kulutuskasvu 1980-90 %
Teollisuus	32,5	55	42
Asuminen	8,6	15	48
Asuinrakennusten sähkö- lämmitys	5,9	10	156
Palvelut ja julkinen	9,8	17	92
Muut	2,5	4	79
Yhteensä	59,3	100	58

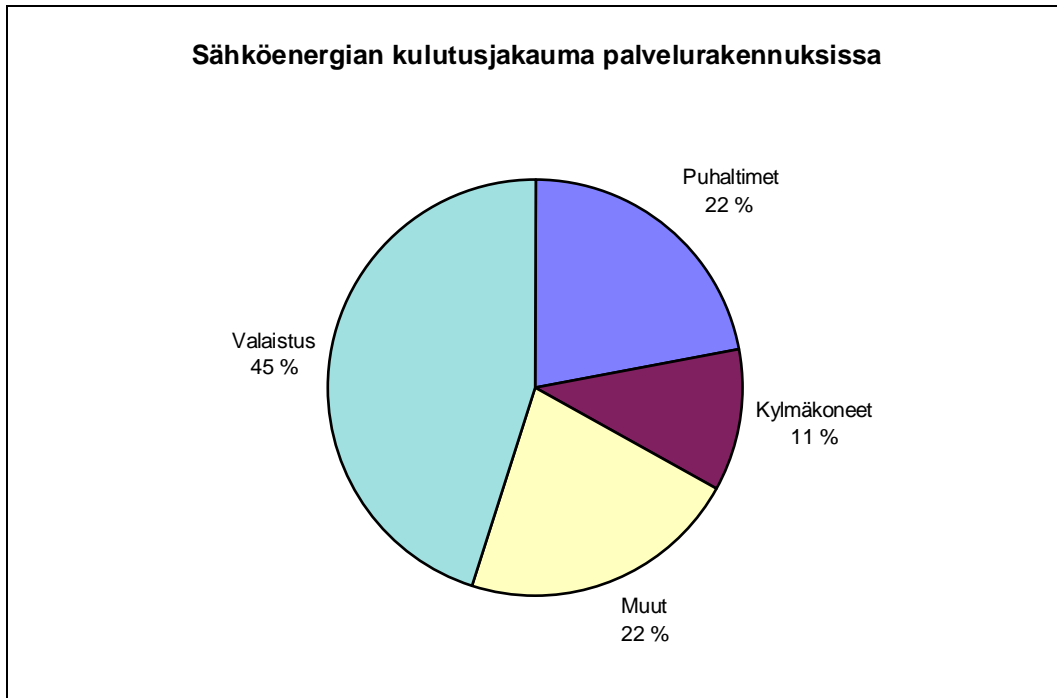
Rakennusten sähkökulutuksen osuutta ei ole suoraan saatavissa tilastoista. Esimerkiksi teollisuuden kulutus jakaantuu prosessien lisäksi valaistukseen, ilmastointiin, lämmitykseen ym. kohteisiin, jotka ovat osa kiinteistökulutusta. Samoin palveluiden sähkökulutus sisältää yhdyskuntahuollon ja tievalaistuksen kulutukset. Arvioitu rakennuksien sähköenergian kulutusosuus on kokonaiskulutuksesta noin 44 - 50 %. Seuraavassa taulukossa 2 on arvioitu rakennuksien sähköenergian kulutusosuuksia kokonaiskulutuksista /6/.

Taulukko 2. Laskelma rakennuskulutuksen suuruudesta 1990 /6/.

	Kulutus 1990 TWh	Rakennus- kulutusosuus %	Rakennus- kulutus, ener- gia TWh
Teollisuus	32,5	10 - 25	4 - 8
Asuminen	8,6	100	8,6
Asuinrakennusten sähkö- lämmitys	5,9	100	5,9
Palvelut ja julkinen	9,8	75	7,4
Muut	2,5	25	0,6
Yhteensä	59,3	44 - 50	26 - 30

Sähköenergiankäyttö on lisääntynyt yleisesti rakennuksissa. Kotitalouksissa sähkölaitekanta on kasvanut koko 1980-luvun ajan. Myös sähköön käyttö kotitalouksien lämmityksessä on yleistynyt. Palveluiden ja julkisen sähkökulutuksen kasvu johtuu pääasiassa ATK-laitteiden yleistymisestä.

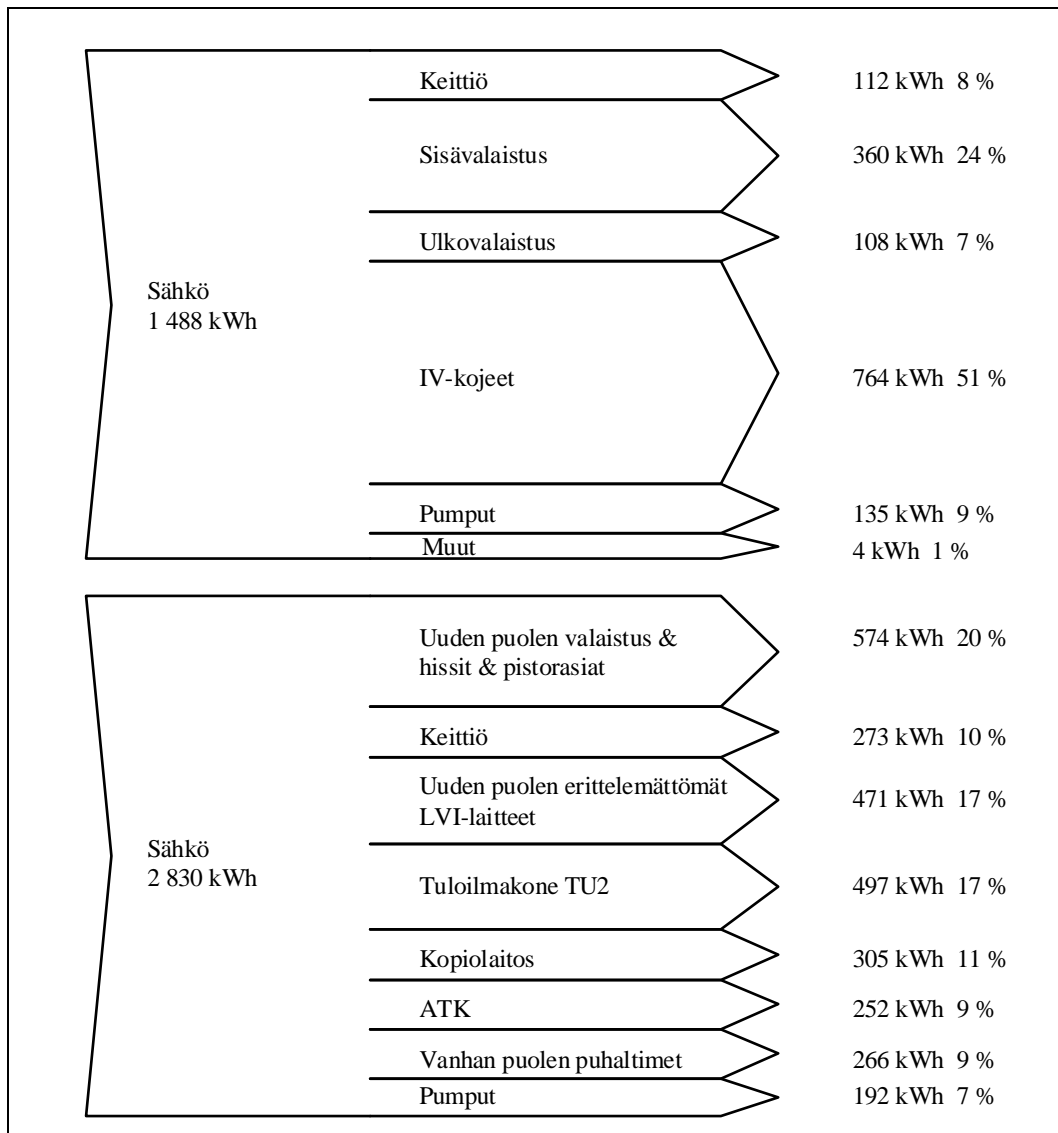
Rakennuksen sähköenergian kulutus jakautuu moniin laiteryhmiin. Asumisen kotitaloussähkön merkittävimmät kulutusryhmät keskimäärin Suomessa ovat kylmälaitteet 30 %, valaistus 25 %, ruoanlaitto 11 %, kiuas 8 % ja viihdelaitteet 7 % /28/. Em. osuuksia ei voi käyttää arvioitaessa yksittäisen talouden kulutusosuuksia, koska perhekohtaiset vaihtelut ovat yleisiä. Loppuosa taloussähköstä jakaantuu pienempien laiteryhmiin osalle. Palvelurakennuksissa eniten sähköenergiaa kuluttavat normaalisti valaistus, puhaltimet ja kylmälaitteet (Kuva 1). /6/.



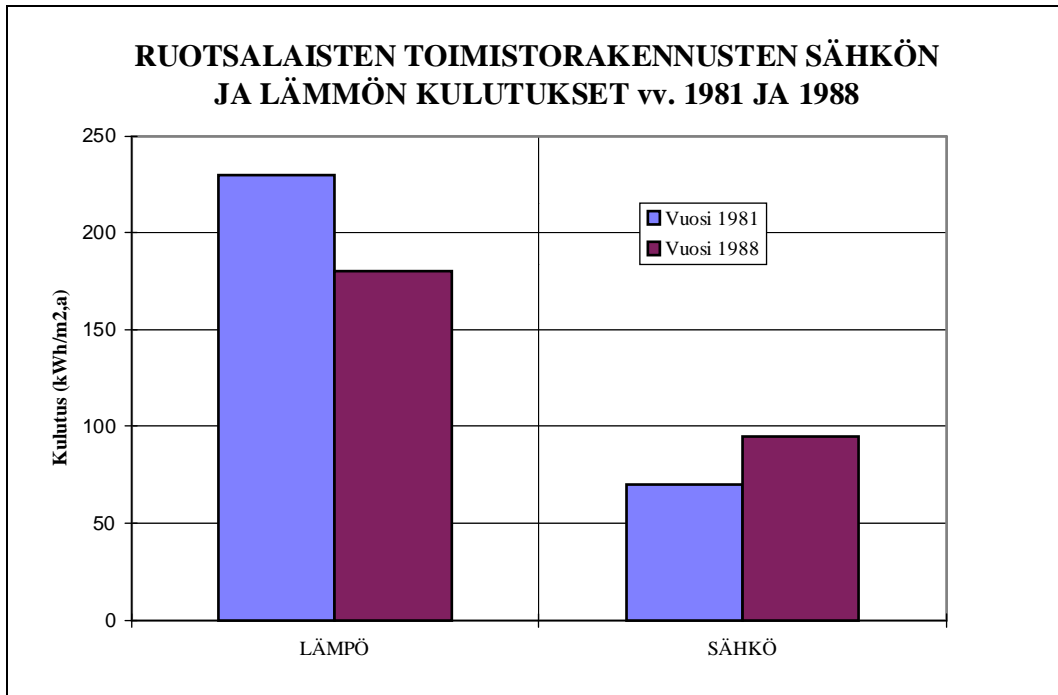
Kuva 1. Sähköenergian kulutusjakauma laiteryhmittäin palvelurakennuksissa. Jakauma ei sisällä lämmityssähköä /6/.

Kuvassa 2 on toinen esimerkki kahden rakennuksen (Helsingin kaupungin virastorakennus ja koulu) sähköenergian kulutuksen jakaumista, jotka on laadittu energiakatselmuksien yhteydessä. Kuvasta havaitaan, että sähkönkulutus koostuu useista melko samansuuruisista termeistä. Merkittäviä kulutustermejä ovat valaistus ja LVI-laitteet.

Ruotsissa kehityssuunta on vastaava kuin Suomessa /5/: rakennusten sähköenergiankulutus on kasvanut voimakkaasti 1980-luvulla julkisissa rakennuksissa, erityisesti toimistotaloissa (Kuva 3). Vastaavasti lämmitysenergiankulutus on pienentynyt. Esimerkiksi Ruotsissa rakennusten sähkön kulutus kasvoi 35 % vuosina 1981- 1988.



Kuva 2. Kahden esimerkkirakennuksen sähköenergiajakaumat. Helsingin kaupungin virastorakennus ja koulu. Sähkönkulutus koostuu useista melko samansuuruisista termeistä. Merkittäviä kulutustermejä ovat valaistus ja LVI-laitteet /1/.

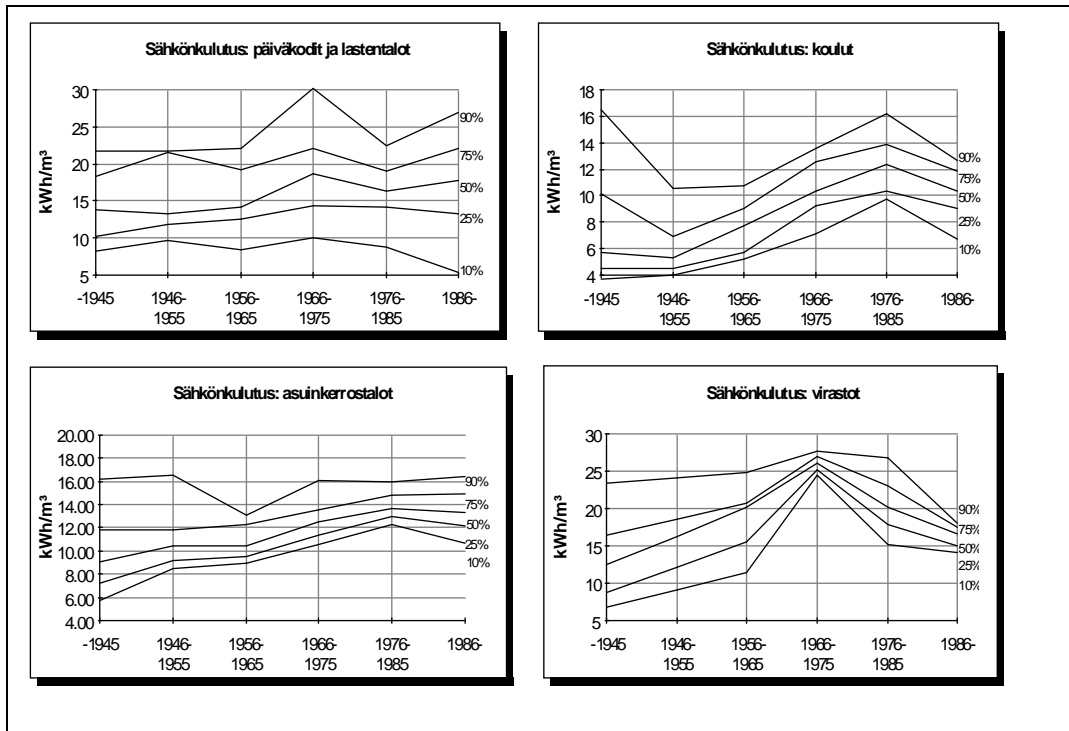


Kuva 3. Rakennusten lämpö- ja sähköenergian kulutus vuosina 1981 ja 1988 ruotsalaisissa julkisissa rakennuksissa, erityisesti toimistotaloissa /5/.

Tilastoidut kulutukset

Kulutusseurannassa käytetään yleensä mittaria, jossa kulutus normitetaan rakennustilavuudella. Mittari pystyy vain osittain selittämään kulutusta: sähkön kulutuksen tavoitteita asetettaessa määrääviä tekijöitä ovat ennen kaikkea kiinteistön käyttö, kiinteistössä harjoitettavan palvelun vaatimukset, kiinteistön varustelutaso ja käyttäjien tottumukset. Toteutuneet kulutukset on kuitenkin tilastoitu normitettuina rakennustilavuudella, joten kulutushajonta muodostuu osassa kiinteistötyyppejä huomattavan suureksi. Tilastollisen tavoitteen asettelu kiistaton etu on tarvittavien lähtötietojen vähyys, sen sijaan tulosten tulkinta on vaikeaa. Parempi tapa olisi pyrkiä asettamaan tavoitteet laiteryhmää (esim. puhaltimet) tai palveluyksikköä (esim. puhaltimen siirtämä ilmavirta) kohti.

Rakennustilavuutta kohti laskettu ominaiskulutus vaihtelee varsin paljon rakennustyyppien ja myös rakennusvuoden mukaan (Kuva 4) /1/. Ominaiskulutuseroihin vaikuttavat em. syyt.



Kuva 4. Helsingin kaupungin asuintalojen, virastojen, sairaaloiden, koulujen ja päiväkotien tilastoitu ominaiskulutus v. 1992 vaihteluväleineen. Vaaka-akselilla kiinteistön rakennusvuosi /1/.

2 ERI LAITERYHMIEN SÄHKÖNKULUTUS

2.1 JOHDANTO

Sähköenergian kulutusarvioita laadittaessa ja kulutuksia seurattaessa käytetään yleisesti tunnuslukua, jossa kulutus jaetaan rakennustilavuudella. Sähkön rakennustilavuutta kohti laskettu ominaistilavuus vaihtelee eri rakennuksissa ja luonnollisesti myös eri rakennustyypeissä melko paljon. Sähkön kulutuserot johtuvat mm. erilaisesta varustetasosta, laitteiden hyötysuhteista ja toiminnasta. Näin ollen ominaiskulutus rakennustilavuutta kohti ei ole paras mahdollinen mittari eri rakennusten sähkönkulutusten vertailuun.

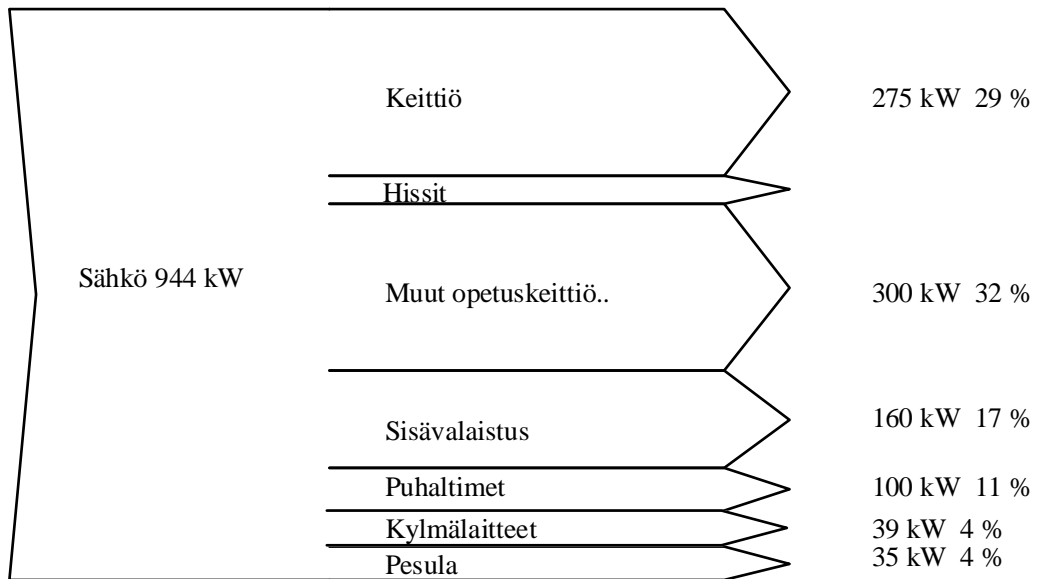
Sähkölaitteen kulutukseen vaikuttavat laitteen teho ja laitteen käyttöaika, jolloin huipputeho -ja kulutusjakaumat voivat olla varsin erilaiset. Tästä esimerkki esitetään kuvassa 5 /1/.

Järjestelmien käytössä ja suunnittelussa tulisi pyrkiä siihen, että energiankäyttö tuotettua palveluyksikköä kohti olisi mahdollisimman pieni. Tällöin seurattaessa kulutusta voi rakennustilavuutta kohti normitettu sähkönkulutus joko kasvaa tai pienentyä rakennuksessa tuotettujen palvelujen määrän muutoksien mukaan.

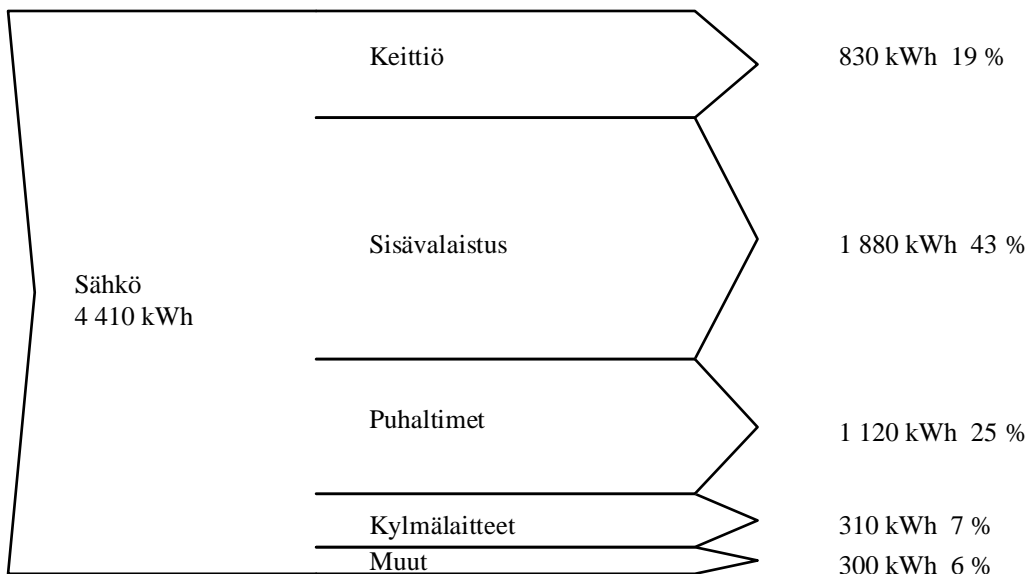
Sähkölaitteet tuottavat erilaisia palveluita, joita ovat esim. ilmanvaihdossa ilmavirta aikayksikköä kohti (m^3/s) ja tulostimella tulostettujen sivujen määrä aikayksikössä. Tarvittava sähköenergian määrä riippuu itse laitteen ominaisuuksista ja toisaalta suunnitteluratkaisuista ja käyttöympäristöstä sekä käyttäjän tavoista ja tottumuksista.

Tavoitearvojen asetannassa voidaan kulutustavoitetta tarkastella siten, että erotellaan kulutus kolmeen osaan: palvelujen määrä, laitteen ympäristö ja laitteen ominaisuus. Yleensä mitä suurempi on palveluiden tuotettu määrä, sitä parempi on laitteen hyötysuhde ja siten ominaiskulutus laskee tuotetun palvelumäärän kasvaessa. Ympäristö, johon laite on suunniteltu (sisältäen suunnitteluratkaisun ja myös mitoituksen), vaikuttaa merkittävästi energiankulutukseen. Viime kädessä laitteen energiatehokkuus vaikuttaa kulutukseen. Taulukossa 3 on havainnollistettu tätä jakoperustetta.

Laiteryhmien huipputehojen jakauma



Vuorokauden energiajakauma



Kuva 5. Sähkön teho- ja energiajakauma esimerkkirakennuksessa /1/.

Taulukko 3. Sähkölaitteen energiankulutuksen tavoitteen asetannan lähtökohdat.

SÄHKÖLAITTEIDEN TAVOITEARVOJEN ASETANTA		
Tuotettu palvelu	Ympäristö (suunnittelu/käyttö)	Laiteominaisuudet
Valaistus: m ² *) Ilmanvaihto: m ³ /s Vesivirta: l/s Atk: sivua/s, flops, “ Kylmälaitteet: l, kg/90min Keittiölaitteet: annos/h Sairaalalaitteet: näyte/h, potilas/h	suora/epäsuora dPa, järj. dPa kannettava/pöytä kylmiö/pakaste/pakkash. jakelu/valmistus/ravintola tilan tyyppi	lm/W hyötysuhde hyötysuhde flops/W, sivua/W, ”/W kylmäkerroin annos/W näyte/h, potilas/W

**)Yleisesti valaistuksessa valaistusvoimakkuutta mitataan luxeina. Luxit eivät kuitenkaan kuvaa riittävän yksikäsitteisesti hyvän näköympäristön ominaisuuksia, joten tässä käytetään palveluyksikkönä m²:ä.*

Seuraavaksi valittujen laiteryhmiä ja laitteiden energiakulutusta on analysoitu em. systematiikkaa soveltaen. Ominaiskulutusta on analysoitu vertaamalla kulutusta ja tuotettujen palvelujen määrää. Myös suunnitteluratkaisun merkitystä on analysoitu ja laiteryhmiä energiätehokkuutta tarkasteltu. Tavoiteasetantaa varten on esitetty uudentyyppinen luokittelutapa energiankäytön tehokkuuden arviointiin. Menetelmässä esitetään palvelua kohti normitettuja ja luokiteltuja tavoitekulutusarvoja eri laiteryhmiä.

2.2 PUHALTIMIEN SÄHKÖNKÄYTTÖ

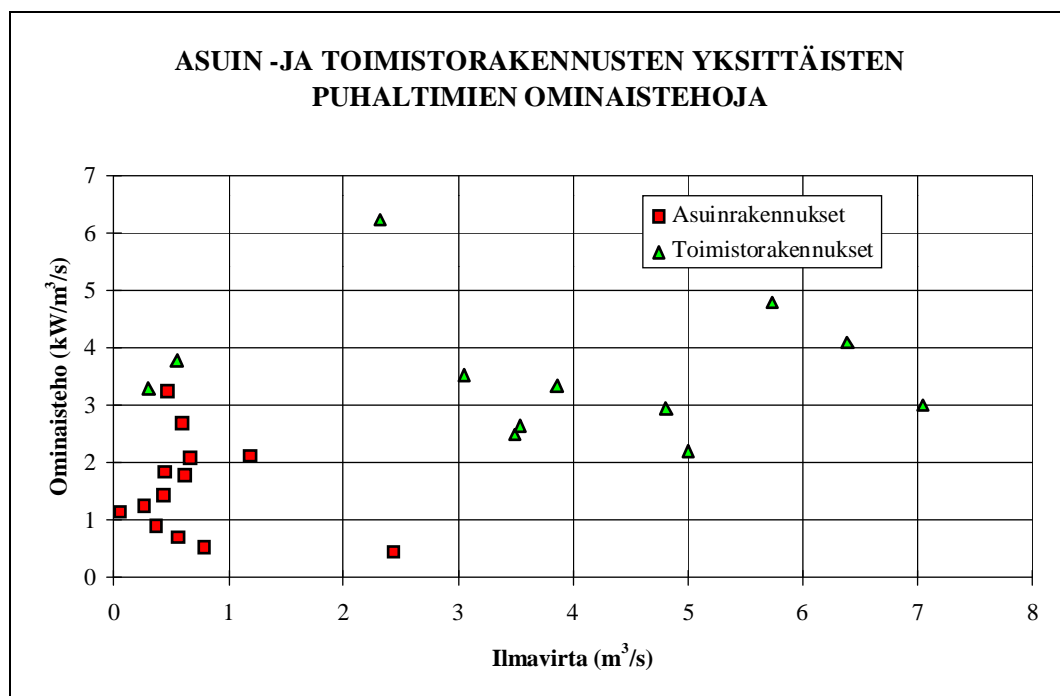
Taulukossa 4 on esitetty puhaltimien sähköenergiankulutuksen muodostuminen eri tekijöistä.

Taulukko 4. Puhaltimen sähköenergiankulutuksen jakaantuminen eri tekijöihin.

PUHALTIMEN TUOT-TAMA PALVELU	YMPÄRISTÖ -käyttö -suunnittelu	PUHALTIMEN OMINAISUUDET
Ilmavirta (m^3/s)	Käyttö -aika Suunnittelu -paine-ero -ilmavirta	Puhallin -hyötysuhde -ominaiskäyrä -säätö Moottori -hyötysuhde

2.2.1 Puhaltimien ominaiskulutuksen tunnusluvut

Puhaltimien ominaistehontarve määritettiin puhaltimen ottaman tehon ja sen tuottaman ilmavirran suhteeksi. Kuvassa 6 on esitetty muutamien yksittäisten puhaltimien ominaistehontarpeita /10/, /11/. Asuinrakennusten ominaistehot ovat pienempiä verrattuna toimistorakennuksien tehoihin, koska asuinrakennusten IV-järjestelmät ovat yksinkertaisempia ja painetasot alhaisempia kuin toimistorakennusten. Toimistoissa ominaistehon vaihteluväli on melko laaja.



Kuva 6. Asuin -ja toimistorakennusten puhaltimien ominaistehontarpeita /10/, /11/.

Määriteltäessä tunnuslukuja puhaltimen tehontarpeelle on olemassa kaksi vaihtoehtoista tarkastelutapaa, tarkastellaan joko yhtä yksittäistä puhallinta tai koko järjestelmän tulo- ja poistopuhaltimien vaatimaa tehontarvetta.

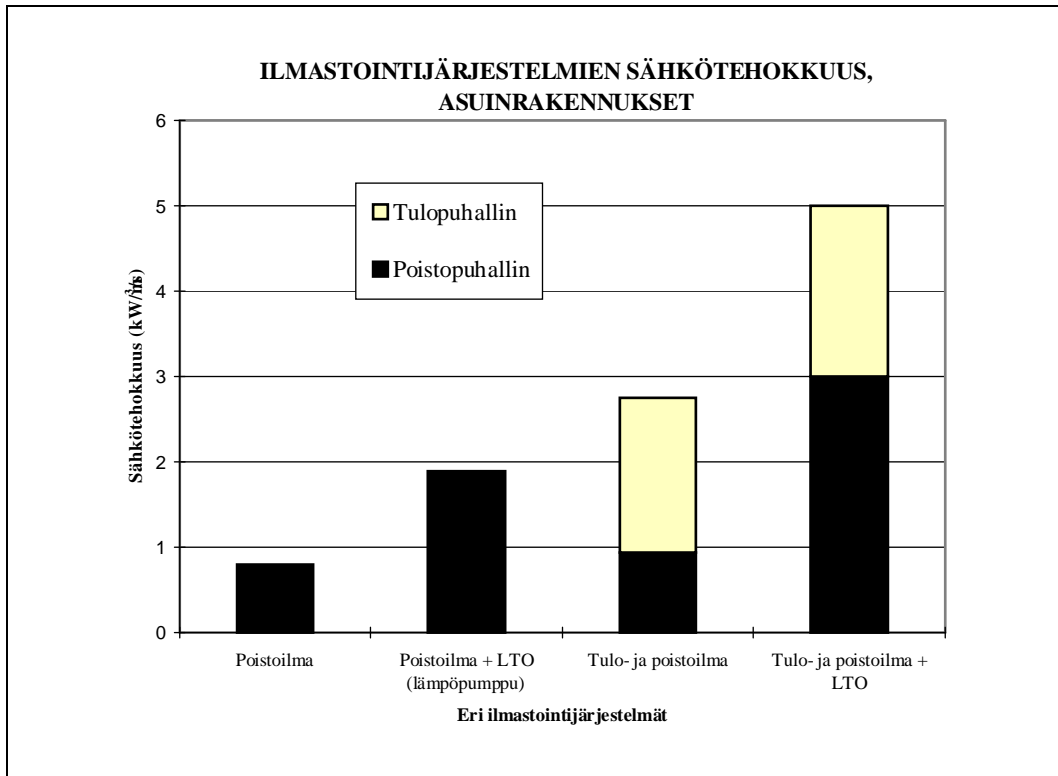
Kun tarkastellaan yksittäistä puhallinta, käytetään termiä SFPI (Specific Fan Power, Individual Fan). SFPI:llä tarkoitetaan puhaltimen vaatimaa tehontarvetta jaettuna puhaltimen läpi menevällä ilmavirralla ($W/m^3/s$). Koko ilmastointijärjestelmän puhaltimien sähkötehokkuutta kuvataan termillä SFP (Specific Fan Power). SFP:llä tarkoitetaan tulo- ja poistoilmapuhaltimien ottamaa sähkötehoa jaettuna rakennuksen mitoitusilmavirralla ($W/m^3/s$). Rakennuksen mitoitusilmavirta on pohjoismaisissa rakennuksissa yleensä sama kuin poistoilmavirta.

Kun rakennuksen tulo- ja poistoilmavirta ovat yhtä suuria, on termin SFP lukuarvo sama kuin summa tulo- ja poistoilmapuhaltimien SFPI:stä. SFP on nykyään yleisimmin käytössä. Tähän pohjautuvat mm. SCANVAC:in suositukset, jotka on tehty toimisto- ja liikerakennuksia varten. Amerikkalainen ASHRAEn standardi 90.1.1989 pohjautuu saman tyyppiseen lähestymistapaan, vaikkakin siinä on käytössä termi ATF (Air Transport Factor). Tässä raportissa määritellään puhaltimien energiatehokkuus koko IV-järjestelmälle.

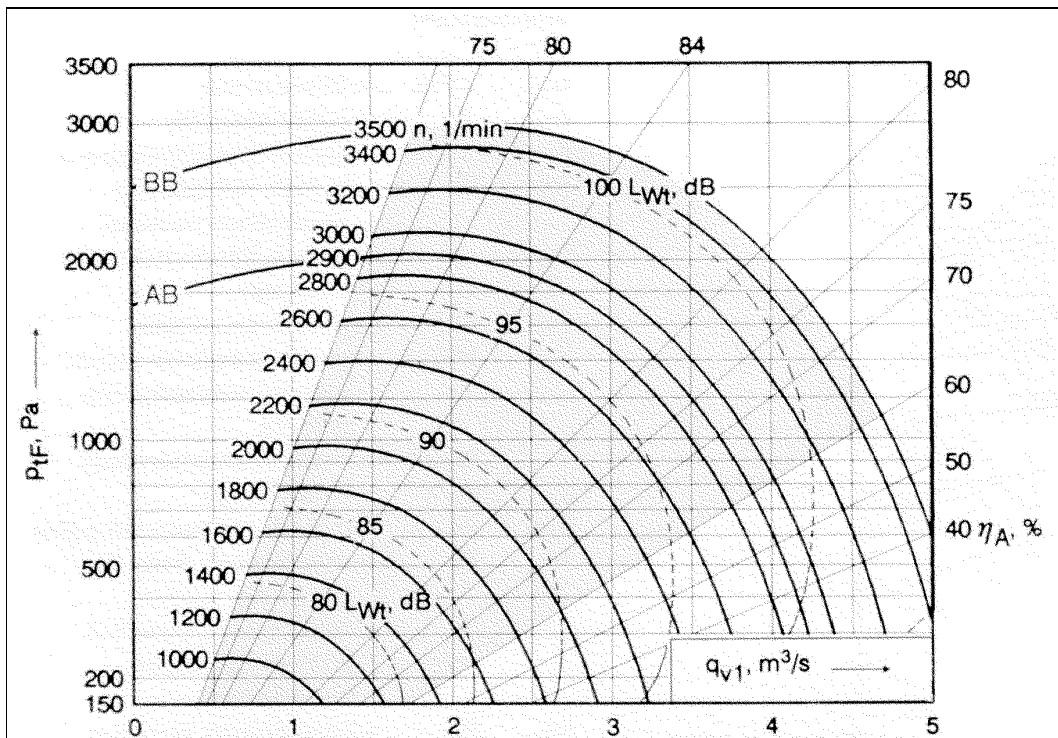
2.2.2 Puhaltimen suunnitteluratkaisun vaikutus energiankulutukseen

Mitä monimutkaisempi ilmastointijärjestelmä, sitä suurempi on yleensä siinä tapahtuva painehäviö. Tämä kasvattaa myös puhallinenergian osuutta rakennuksen koko energiankulutuksesta. Kun järjestelmään liitetään lämmöntalteenotto, pienenee lämmitysenergian tarve, mutta vastaavasti sähköenergian tarve kasvaa. Eri IV-järjestelmäratkaisujen vaikutusta havainnollistaa kuva 7. IV-laitoksen käyttöajoilla on myös erittäin suuri vaikutus vuosittaiseen sähköenergiankulutukseen.

Kullakin puhaltimella on sille optimaalisin toiminta-alue, jolla puhaltimen hyötysuhde vaihtelee ilmavirran ja paine-eron funktiona. Erityisesti muuttuvailmavirtaisissa järjestelmissä on tärkeää suorittaa hyötysuhdetarkastelut koko järjestelmän ilmavirta-alueella. MIV-järjestelmissä puhaltimen parhaan hyötysuhteen alue mitoitetaan käyttötunneiltaan suurimman ilmavirran alueelle. Kuvassa 8 esitetään erään radiaalipuhaltimen suoritusarvodiagrammi. Radiaalipuhaltimet ovat yleisesti käytettyjä ilmanvaihtolaitoksissa.



Kuva 7. Asuinrakennusten puhaltimien ominaistehontarpeita eri IV-järjestelmillä.



Kuva 8. Esimerkki radiaalipuhaltimen suoritusarvodiagrammista. Puhaltimen hyötysuhde vaihtelee ilmavirran ja paine-eron funktiona. Puhaltimen toimintapisteen tulisi sijaita parhaan hyötysuhteen alueella.

2.2.3 Puhaltimen ominaisuudet

Tehon tarve

Puhaltimen tehontarve voidaan laskea seuraavasti:

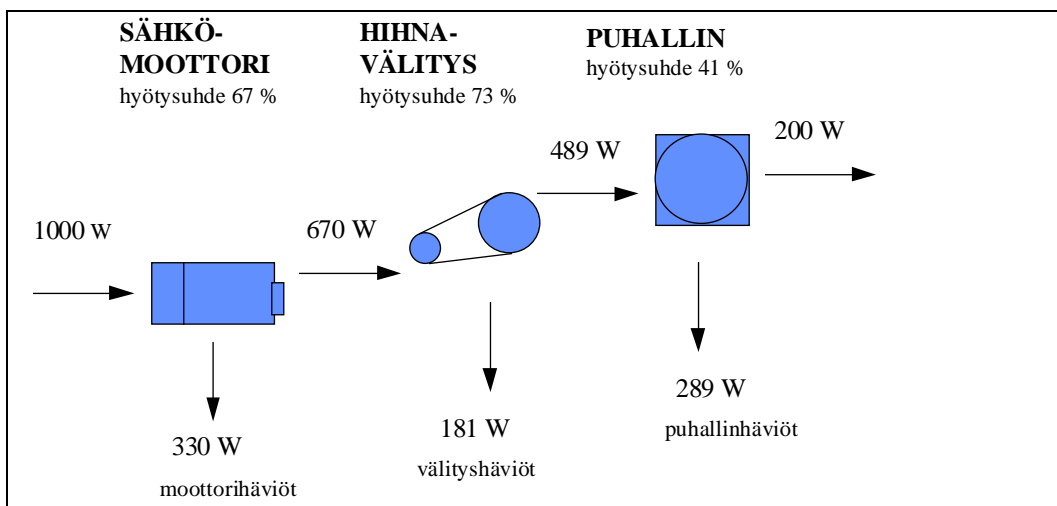
$$P = \frac{q_v \Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} \quad (1)$$

missä P on sähköteho (kW)
 q_v on ilmavirta (m^3/s)
 Δp_{tot} on paine-ero (kPa)
 η_{tot} on kokonaishyötysuhde.

Kokonaishyötysuhde koostuu puhaltimen hyötysuhteesta $\eta_{puh.}$, sähkömoottorin hyötysuhteesta $\eta_{säh.}$ ja välityksen (kiilahihna tms.) hyötysuhteesta $\eta_{väl.}$ (Kuva 9).

$$\eta_{tot} = \eta_{puh.} \cdot \eta_{moot.} \cdot \eta_{väl.},$$

Järjestelmien kokonaishyötysuhde on pieni ja vaihtelee tyypillisesti 0,05 - 0,4. Huonoin hyötysuhde on pienissä järjestelmissä, kun taas paras suurissa järjestelmissä, joissa puhallin on taaksepäin kallistetuin siivin. Moottorin hyötysuhde on yleensä 60 - 70 % ja välityksen hyötysuhde 70 - 85 %. Mitä pienempi on puhaltimen teho, sitä suuremmat ovat suhteessa välityksen häviöt.



Kuva 9. Esimerkki ilmastointijärjestelmän puhaltimeen liittyvistä häviöistä. Puhaltimen kokonaishyötysuhde on 20 % [2]. Varsinkin pienissä puhaltimissa moottorin ja hihnavälityksen osuudet tehohäviöistä voivat olla merkittäviä.

Puhaltimien painehäviöt ovat verrannollisia pyörimisnopeuden toiseen potenssiin

$$\Delta p_x / \Delta p_o = (n_x / n_o)^2, \quad (2)$$

missä

Δp on paine-ero
n on kierrosluku.

Koska puhaltimen tehontarve on verrannollinen paineen ja tilavuusvirran tuloon, tehontarve on verrannollinen pyörimisnopeuden kolmanteen potenssiin.

$$P_x/P_o = (n_x/n_o)^3, \quad (3)$$

missä

P on teho
n on kierrosluku.

Puhallinta järjestelmään valittaessa ja mitoitettaessa on otettava huomioon mm. seuraavia tekijöitä: puhaltimen vaatima tilantarve ja erityisesti puhaltimen äänitaso. Puhaltimesta aiheutuva melu vaihtelee huomattavasti puhaltimen toimintapisteen ja säätötavan mukaan.

Säätötavat

Kun siipipyörä on asennettu suoraan moottorin akselille, saadaan aikaan häviötön voimansiirto, mutta menetetään puhaltimen kierrosnopeuden korjaamisen mahdollisuus. Tämä tapa on yleisesti käytetty potkuri- ja aksiaalipuhaltimissa ja pienissä keskipakopuhaltimissa. Koska pyörimisnopeus ei ole muuteltavissa, on puhallin valittava huolella eli verkoston painehäviö on laskettava tarkasti /8/.

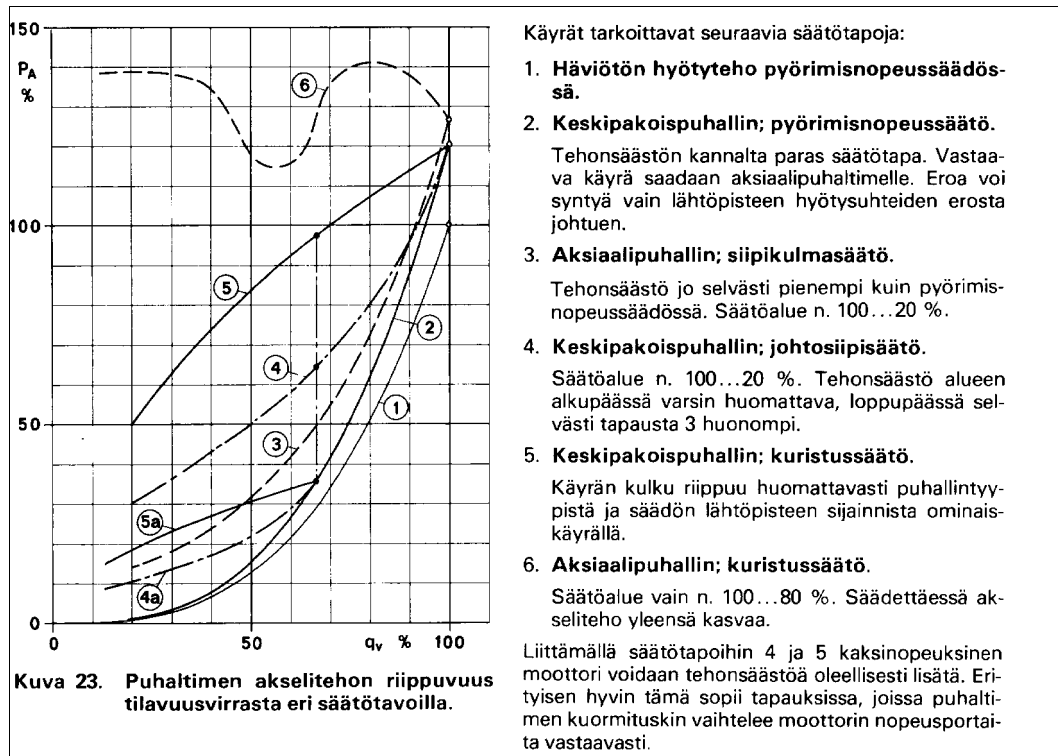
Hihnakäyttö on yleinen ilmastointikoneiden puhaltimissa. Kiilahihnakäytön häviöt ovat noin 5 %. Pyörimisnopeutta ja ilmavirtaa voidaan vaihdella hihnapyörien avulla, jolloin mitoitus- ja valintavirheitä voidaan korjata myöhemmin, edellyttäen, että moottorissa on riittävästi tehoa /8/.

Käytön aikaiseen ilmavirran muuttamiseen voidaan aksiaali- ja keskipakopuhaltimia säätää kuristus-, johtosiipi- ja pyörimisnopeussäädöllä. Lisäksi aksiaalipuhaltimia voidaan säätää siipikulmia muuttamalla.

Kuristussäätö on halpa ja toteutettavissa kaikissa puhaltimissa, mutta se ei ole energian käytön kannalta suositeltava ratkaisu, koska tehonhukka on suuri. Koko lisävastuksella (esim. säätöpelti) aiheutettu osuus suoritustehosta menee hukkaan. Lisäksi tehontarve kasvaa aksiaalipuhaltimessa ilmavirran pienentyessä ja moottori saattaa ylikuormittua. Johtosiipisäädössä puhaltimen imuaukolle asennetulla johtosiipisäätimellä aiheutetaan ilmavirralla puhaltimen siipipyörän suuntainen pyörimisliike, joka pienentää tilavuusvirtaa. Tehohäviö on paljon pienempi kuin kuristussäädössä. Pyörimisnopeussäätö voidaan toteuttaa portaattaisella tai portaattomalla säädöllä. Usein puhaltimia säädetään ilmastointijärjestelmissä kahdessa portaassa, 1/1- ja 1/2-tehoisilla moottoreilla. Portaalliseen säätöön voidaan yhdistää edellä mainittuja säätömenetelmiä. Portaaton säätö voidaan toteuttaa mm. taajuusmuuttajilla tai jännitteensäädöllä. Portaaton pyörimisnopeussäätö taajuusmuuttajalla on energian käytön kannalta lähes

ihanteellinen, koska häviöt ovat pieniä. Negatiivisena seikkana on tämän säätömuodon korkea hinta. Aksiaalipuhaltimilla käytettävä siipikulmasäätö on lähellä ihanteellista säätöä. Aksiaalipuhaltimet ovat kuitenkin hankintahinnaltaan kalliita. Kuvassa 10 esitetään puhaltimen akselitehon riippuvuus tilavuusvirrasta eri säätötavoilla /7/.

Jatkuvasäätöisissä muuttuvilmavirtaisissa (MIV) järjestelmissä pidetään staattista painetta tuloilmakanavistossa yhdessä tai useammassa kohdassa kanavistoa, jotta huoneiden tuloilmavirran säätöpelten toiminta varmistettaisiin. Tästä on seurauksena, että järjestelmän tuloilmapuhaltimet ottavat sähkötehoa, vaikka ilmavirta olisi nolla. Tuloilmapuhaltimelle tehontarve ilmavirran nollassa on muuttuvilmavirtaisissa järjestelmissä noin 20 - 30 % puhaltimen mitoituspisteen sähkötehosta, kun käytetään portaatonta pyörimisnopeussäätöä. Arviossa on oletettu, että staattinen paine on noin neljännes puhaltimen maksimipaineenkorotuksesta mitoituspisteessä /16/. Tuloilmapuhaltimen tehokäyrä MIV-käytössä on samanmuotoinen kuin kuvan 10 käyrä 4.



Kuva 10. Puhaltimen akselitehon riippuvuus tilavuusvirrasta eri säätötavoilla /7/.

2.2.4 Säästömahdollisuudet

Pääperiaate on, että suositaan energiatehokkaita laitteita, joita käytetään tarpeen mukaisesti. On kuitenkin huomattava, että puhaltimen hyvä maksimihyötysuhde ei sinällään takaa järjestelmän energiatehokkuutta, vaan tärkeää on selvittää puhaltimen hyötysuhde toimintapisteessä tai myös toiminta-alueella. Puhaltimien parhaan hyötysuhteen alue on yleensä melko rajattu. Mitoitusvirheet voivat helposti muuttaa hyötysuhdetta useita prosentteja. Puhaltimien energiataloudellisen optimiominaistehon valinta ilmastointijärjestelmään on riippuvainen käyttö-ajoista, järjestelmästä ym:ta.

Seuraavassa luettelonomaisesti muutamia säästövihjeitä:

- Ilmastointijärjestelmien tarpeenmukainen käyttö eli koneet käyvät kun kiinteistön tilat ovat käytössä. Useampien koneyksiköiden laitoksissa yhden IV-koneen palvelemien tilojen rakennuksessa tulisi olla käyttöajoiltaan samanlaisia.
- Hyvin mitoitettu kokonaisjärjestelmä, rakennuksessa tulisi olla varattuna riittävät tilat kanavistoille turhien mutkien poistamiseksi. Alhaiset painehäviöt. Varsinkin konehuoneiden kanavistosuunnittelussa tulee kiinnittää huomiota painehäviöiden minimoimiseen.
- IV-järjestelmän tasapainotus kuntoon.
- Energiankulutusta ja -kustannuksia tarkastellaan suunnitteluvaiheessa koko IV-laitoksen elinkaaren yli.
- MIV-järjestelmissä tulisi maksimoida puhaltimen vuotuinen energiatehokkuus käytettävällä ilmavirta-alueella. Kaksinopeuspuhaltimilla varsinkin 1/2-nopeuden energiatehokkuuteen tulee kiinnittää huomiota, mikäli sen vuotuinen käyttöaika on pitkä.
- Käytetään puhaltimissa energiatehokkaita moottoreita, merkittävin säästö on mahdollista saavuttaa teholuokassa $< 4 \text{ kW} / 15/$.

2.3 PUMPUT

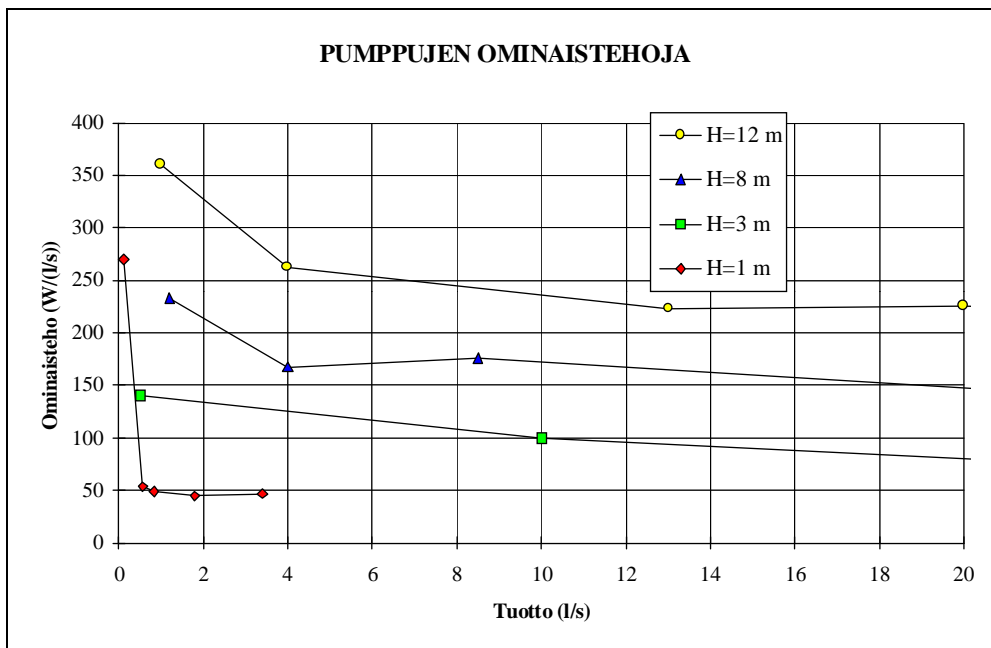
Tarkastelu rajattiin rakennusten LV-pumppuihin. Rakennuksissa käytettävät pumput ovat yleensä keskipakopumppuja. Taulukossa 5 on esitetty pumppujen sähköenergiankulutuksen muodostuminen eri tekijöistä.

Taulukko 5. Pumpun sähköenergiankulutuksen jakaantuminen eri tekijöihin.

PUMPUN TUOTTAMA PALVELU	YMPÄRISTÖ -käyttö -suunnittelu	PUMPUN OMINAISUUDET
Vesivirta (l/s)	Käyttö -aika Suunnittelu -paine-ero -nestevirta	Pumppu -hyötysuhde -ominaiskäyrä -säätö Moottori -hyötysuhde

2.3.1 Pumpun ominaiskulutuksen tunnusluvut

Pumppujen ominaiskulutuksen tunnusluvuksi määritettiin pumpun ottaman sähkötehon suhde vesivirtaan (W/(l/s)). Kuvassa 11 on esitetty tyypillisiä keskipakopumppujen ominaistehoja /13/. Koska tehontarpeeseen vaikuttaa myös pumpun paine-ero, käytetään kuvassa parametrinä pumpun nostokorkeutta. Nostokorkeuden yksikkö on metriä vesipatsasta. Kiinteistöissä käytettävien pumppujen nostokorkeudet ovat noin 1 - 5 m (vastaa noin 10 - 50 kPa:a).



Kuva 11. Pumppujen ominaistehoja eri nostokorkeuksien arvoilla /13/.

2.3.2 Suunnitteluratkaisun vaikutus pumppujen energiankulutukseen

Pumpun valinnassa on tärkeää huomioida pumpun toimintapiste mitoitettavassa järjestelmässä. Toiminta-alueen tulisi sijaita pumpun parhaan hyötysuhteen alueella. Pumpun suunnittelussa joudutaan käyttämään tiettyjä varmuuskertoimia, koska laskennalliset painehäviöt eivät yleensä täsmää toteutuneiden kanssa. Tästä on seurauksena, että pumput eivät välttämättä toimi optimialueillaan. Lisäksi pumpun valintaan käytettävään järjestelmään vaikuttaa pääasiassa vain hankintakustannus, joka pyritään minimoimaan. Jos valitaan halvempi pumppu, sen energiatehokkuus saattaa olla huono. Pumppauksen energiataloudellista käyttöä ei nykyään tarkastella koko elinkaaren yli.

Kierrätettävän nesteen laatu pumppauksessa vaikuttaa painehäviöihin. Jäähdytysjärjestelmissä ja IV-esilämmityspattereissa käytettävien vesi-glycoliseosten lämmönsiirto-ominaisuus on heikompi ja painehäviö suurempi puhtaaseen veteen verrattuna. Saman lämpötehon siirtäminen vesi-glycoliseoksella vaatii suuremman pumppaustryön verrattuna puhtaaseen veteen.

2.3.3 Pumpun ominaisuuksien vaikutus

Pumpun tehontarve voidaan laskea kuten puhaltimillakin:

$$P = \frac{q_v \Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} \quad (4)$$

missä P on sähköteho (kW)
 q_v on nestevirta (m^3/s)
 Δp_{tot} on paine-ero (kPa)
 η_{tot} on kokonaishyötysuhde.

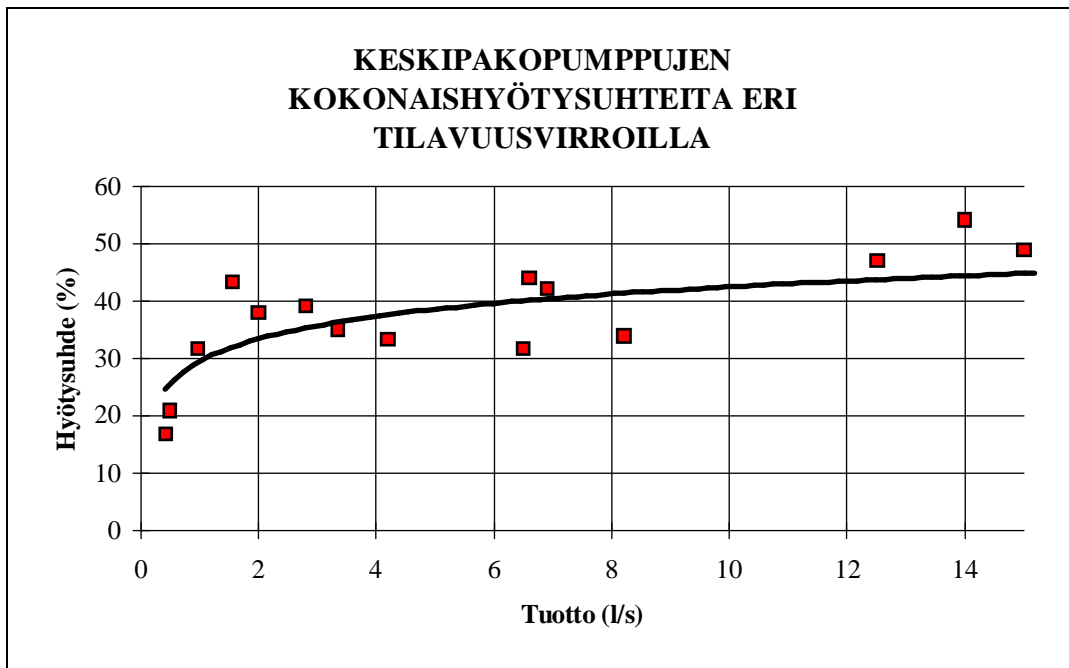
Taulukossa 6 on esitetty rakennustyypeittäin lämmitysverkostopumppujen tehontarpeita. Pientalo- ja rivitalo-kokoluokan pumppuja käytetään myös IV-koneiden lämmitys- ja jäähdytyspatterien kiertovesipumppuina. Suomen rakennuskannassa asuinrakennusten vuosittaisesta sähköenergiasta pumppauksen osuus on noin 4 %. Palvelujen sähkönkäytöstä pumppauksen osuus on noin 15 % /12/.

Taulukko 6. Eri rakennustyyppien tyypillisiä lämpöjohtopumppujen arvoja.

Rakennustyyppi	Tehontarve (W)	Energiankulutus (kWh) Käyttö 9 kk	Tavallisimpia hyötysuhteita (%)
Pientalo	noin 30 - 50	300 - 400	5 - 20
Rivitalo	noin 100	500 - 600	15 - 40
Kerrostalo	noin 150 - 300	900 - 1 600	30 - 50
Useita rakennuksia	> 1 000	> 6 500	50 - 70

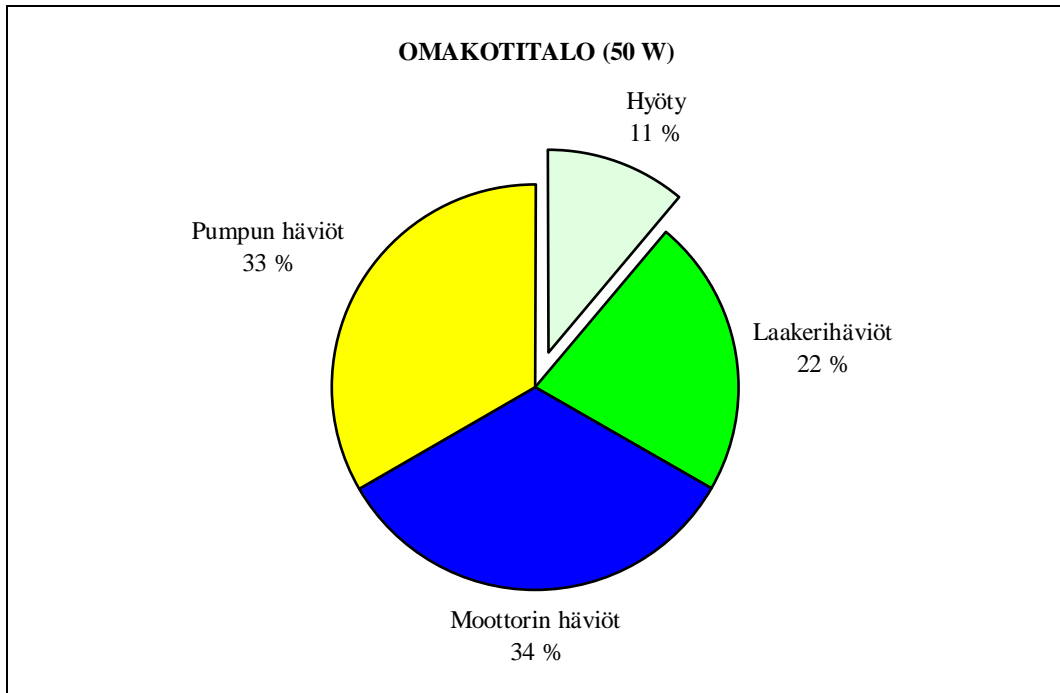
Pienillä pumpuilla kokonaishyötysuhteet ovat heikkoja, koska kitkahäviöt ovat suhteessa suuria (laakerihäviöt, sähköiset häviöt moottorissa). Suuritehoisissa

pumpuissa (>1 kW) maksimihyötysuhteet ovat 50 - 70 % /13/. Kuva 12 esittää tyypillisiä pumppujen kokonaishyötysuhteita eri tilavuusvirroilla.

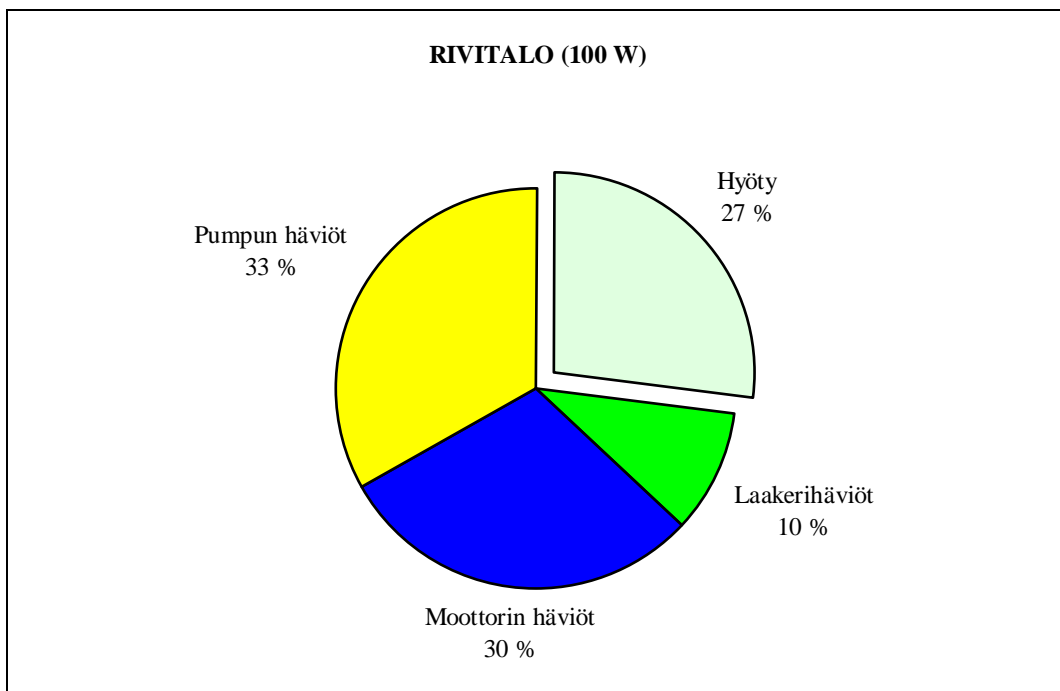


Kuva 12. Pumppujen kokonaishyötysuhteita eri tuoton arvoilla /13/. $H=3$ m.

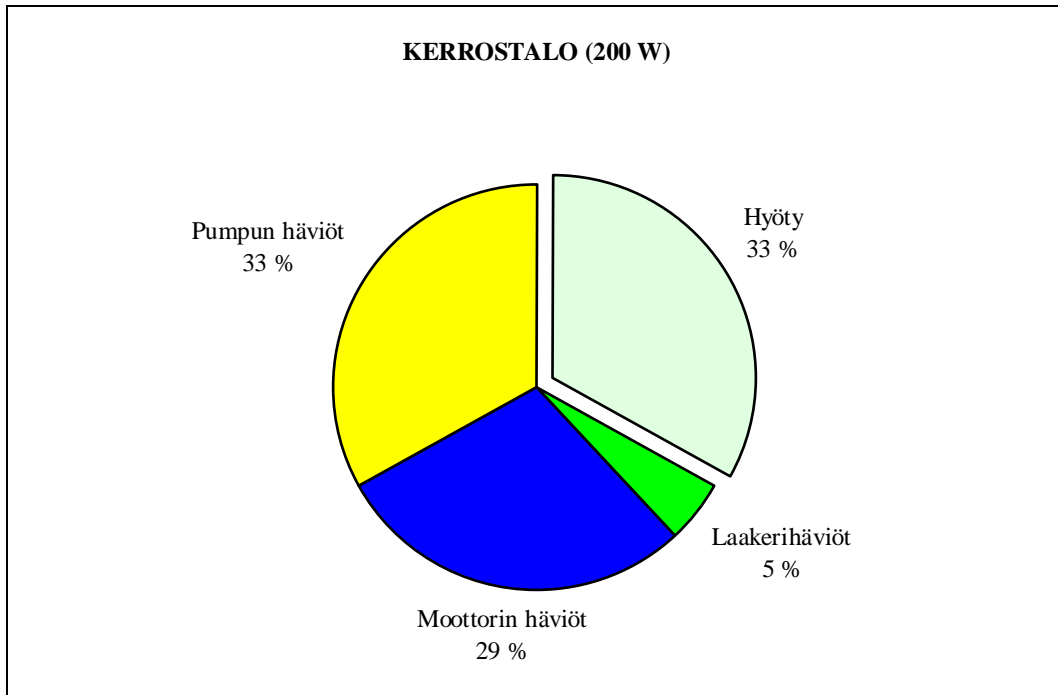
Seuraavissa kuvissa 13, 14 ja 15 on esitetty esimerkkejä pumpuissa käytetyn sähkötehon jakaantumisesta /13/, /14/. Kuvassa 16 on arvioitu suuren (noin 2 kW) pumpun sähkötehon jakaantumista eri tekijöihin. Tämän kokoluokan pumpussa kitkahäviöiden osuus on melko pieni. Tuottoarvoina pumpuissa on käytetty omakotitaloissa 0,2 - 0,5 l/s, rivitaloissa 0,5 - 1,0 l/s ja kerrostaloissa 1,0 - 10 l/s. Tarvittavat paineenkorotukset ovat noin 10 - 50 kPa. Pumput mitoitettiin parhaan hyötysuhteen alueelle.



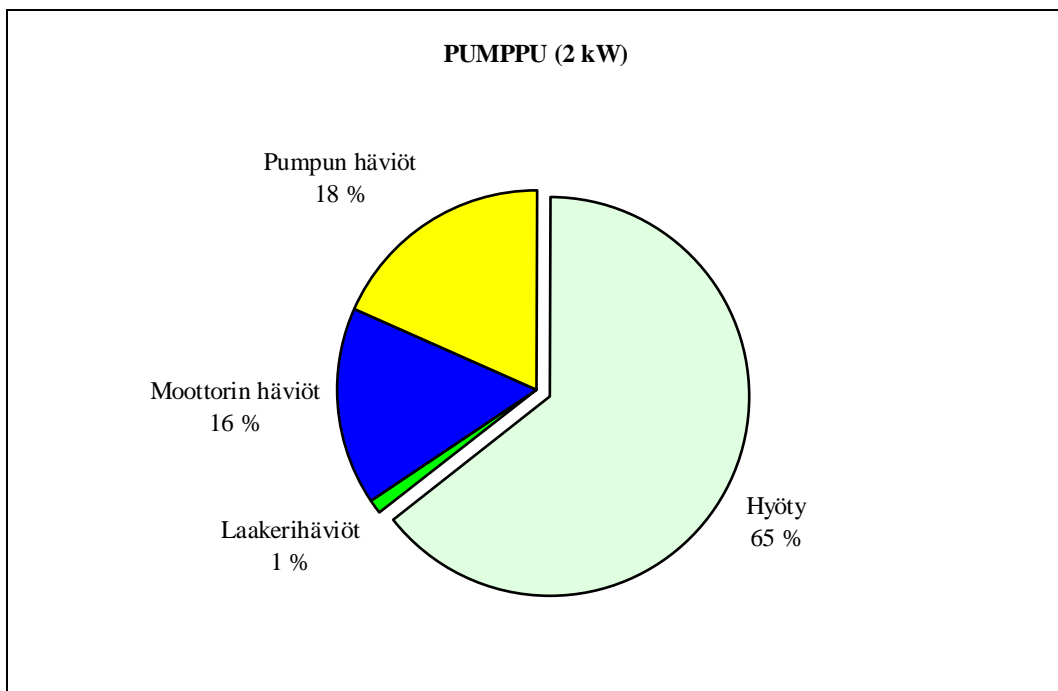
Kuva 13. Sähkötehon jakaantuminen omakotitalon pumpussa.



Kuva 14. Sähkötehon jakaantuminen rivitalon pumpussa.



Kuva 15. Sähkötehon jakaantuminen kerrostalon pumpussa.



Kuva 16. Sähköteholtaan 2 kW: n pumpun sähkötehon jakaantuminen.

Säätötavat

Pumppuja voidaan säätää kuristamalla virtausta tai muuttamalla pumpun pyörimisnopeutta. Virtauksen kuristaminen on investointikustannuksiltaan halpa tapa säätää, mutta energiankäytön kannalta se on tuhlaavaa. Pyörimisnopeutta voidaan muuttaa tyristorisäätimillä, napaparilukua muuttamalla tai taajuusmuuttajilla. Tyristorisäätö ja napapariluvun muuttaminen ovat säätötapoina portaallisia. Tyristorisäätöä käytetään pienissä pumpuissa. Tyristorisäädössä sähkömoottorin suhteelliset sisäiset häviöt kasvavat pyörimisnopeuden pienentyessä. Taajuusmuuttajien käyttö pumppauksen säädössä on energiataloudellisinta, mutta niiden hankintakustannukset ovat suurimmat. Taajuusmuuttajia on saatavilla integroituna kiinteistöjen lämpöjohtopumppuihin, mutta niiden säästövaikutuksista ei ole tutkittua tietoa. Pientaloihin taajuusmuuttajat ovat liian kalliita. Suurille pumppaustehoille ja pitkille vuosittaisille käyttöajoille taajuusmuuttajat ovat paras ratkaisu, mikäli tarvitaan virtauksen säätöä, esim. kaukolämpöverkostot.

2.3.4 Säästömahdollisuudet

Seuraavassa on esitetty muutamia huomioon otettavia asioita pumppujen energiataloudellisesta käytöstä:

- Mahdollisimman tarkka mitoitus.
- Taajuusmuuttajien käyttö pitkille käyttöajoille ja isoille tehoille säädössä.
- Verkostojen tasapainotus kuntoon, jolloin paine-erot pienenevät.
- Energiankulutuksen ja -kustannusten tarkastelu koko pumpun elinkaaren aikana.
- Jäähdytysjärjestelmissä ja IV-esilämmityspiireissä käytettävien vesi-glycoliseosten glycolipitoisuuden pitäminen sopivana. Liian suuri glycolipitoisuus kasvattaa pumppaustyötä ja heikentää nesteen lämmönsiirto-ominaisuuksia.
- Energiatehokkaiden moottoreiden käyttö pumpuissa, merkittävin säästö saavutettavissa teholuokassa $< 4 \text{ kW} / 15/$.
- Jos ei löydy pumppua hyvällä hyötysuhteella, selvitettävä mahdollisuus yhdistellä eri pumppuja rinnan tai sarjaan hyvän hyötysuhteen saavuttamiseksi.

2.4 KYLMÄLAITTEET

Tarkastelu rajattiin koskemaan kotitalouden ja suurkeittiöiden kylmälaitteita. Kotitalouden laitteista olivat mukana jää- ja pakastekaapit, säiliöpakastimet ja kylmiöt. Suurtalouksien laitteista tarkasteltiin jää- ja pakastekaappeja, pakaste- ja kylmähuoneita sekä jäähdytyskaappeja.

Kylmälaitteen sähköenergiankulutus muodostuu eri tekijöistä (Taulukko 7). Tekijät voidaan jakaa kolmeen osaan: palvelu, joka kuvaa laitteen kapasiteettia (säilytyslaitteilla tilavuus, jäähdytys -ja pakastuslaitteilla kg/aikayksikkö); ympäristö, joka on laitteen käytöstä ja suunnitteluratkaisuista riippuvainen osa, sekä laiteominaisuudet, jotka ovat puhtaasti laitteen sisäisiä.

Taulukko 7. Kylmälaitteen energian kulutuksen jakaantuminen eri tekijöihin.

KYLMÄLAITTEEN TUOTTAMA PALVELU	YMPÄRISTÖ -käyttö -suunnittelu	LAITEOMINAISUUDET
Tilavuus (l), (m ³) Jäähdytyskapasiteetti (kg/90 min)	Käyttö -ovien aukaisut -tavaran vaihtuvuus Suunnittelu -sijoittelu -ympäristön lämpötila -laitteen sisälämpötila	Kylmäkerroin -kompressori -säätö -kylmäaine Eristeet -materiaali -paksuus

Energiankulutuksia tarkasteltiin sekä valmistajan ilmoittamien kulutuksien että mitattujen kulutusten avulla. Kylmälaitteiden energiankulutuksen osuus kotitalouden energiankulutuksesta vaihtelee asumismuodoittain 17 - 33 % (Taulukko 8) /24/.

Taulukko 8. Kylmäsäilytyksen osuus taloussähkökulutuksesta 1980-luvulla /24/.

Asumismuoto	Tutkimusajankohta	Kylmäsäilytyksen osuus %	Energiankulutus (kWh/vrk)
Pientalo	1980-l. alku	25	1,8
Pientalo	1980-l. loppu	17	3,7
Kerrostalo	1980-l. alku	33	1,7
Kerrostalo	1980-l. loppu	33	2,3

Pienistä liitäntätehoista (noin 80 - 150 W) huolimatta kylmälaitteiden energiankulutus on merkittävä niiden ympärivuotisen käytön vuoksi. Sekä pientaloissa että kerrostaloissa kylmälaitteiden vuorokautinen energiankulutus on kasvanut. Sähkökäyttöisten kodinkoneiden lisääntyminen 1980-luvulla on lisännyt kokonaisenergiankulutusta, jolloin kylmälaitteiden suhteellinen kulutus on säilynyt ennallaan kerrostaloissa, pientaloissa suhteellinen osuus on jopa pienentynyt.

Suurkeittiöiden kylmälaitteiden kulutusosuuksista on saatavissa melko vähän tietoa. Työtehoseuran tutkimuksessa /25/ tehdyssä seurantamittauksessa olleen suurkeittiön kylmälaitteiden sähköenergiankulutuksen osuus oli 22 - 30 %. Keittiö oli tyypiltään valmistuskeittiö. On huomattava, että kulutusosuudet vaihtelevat eri keittiötyyppien välillä.

Laitekohtaisen tehontarpeen määrittelyssä käytettiin valmistajan ilmoittamaa liitäntätehoa. Kylmäsäilytyslaitteiden liitäntätehot ovat kotitalouksissa 80 - 300 W ja vaihtelevat laitteen tilavuuden ja käyttötarkoituksen mukaan. Pienimmät tehot ovat jääkaapeissa ja suurimmat yhdistelmäkaapeissa, joissa on jääkaappi, viileätilat ja pakastin yhdistettynä. Taulukossa 9 on esitetty suurkeittiökylmälaitteiden tyypillisiä liitäntätehoja /22/.

Taulukko 9. Suurkeittiöiden kylmäkalusteiden liitäntätehoja /22/.

Kylmäkaluste	Liitäntäteho (kW)
Jääkaapit	0,11 - 0,96
Jäähdytyskaapit	0,80 - 6,30
Pakastuskaapit	0,10 - 3,10
Kylmiöt	0,18 - 2,00
Pakastekaapit	0,10 - 1,61
Kylmähuoneet	0,55 - 2,70
Pakastehuoneet	0,95 - 3,20

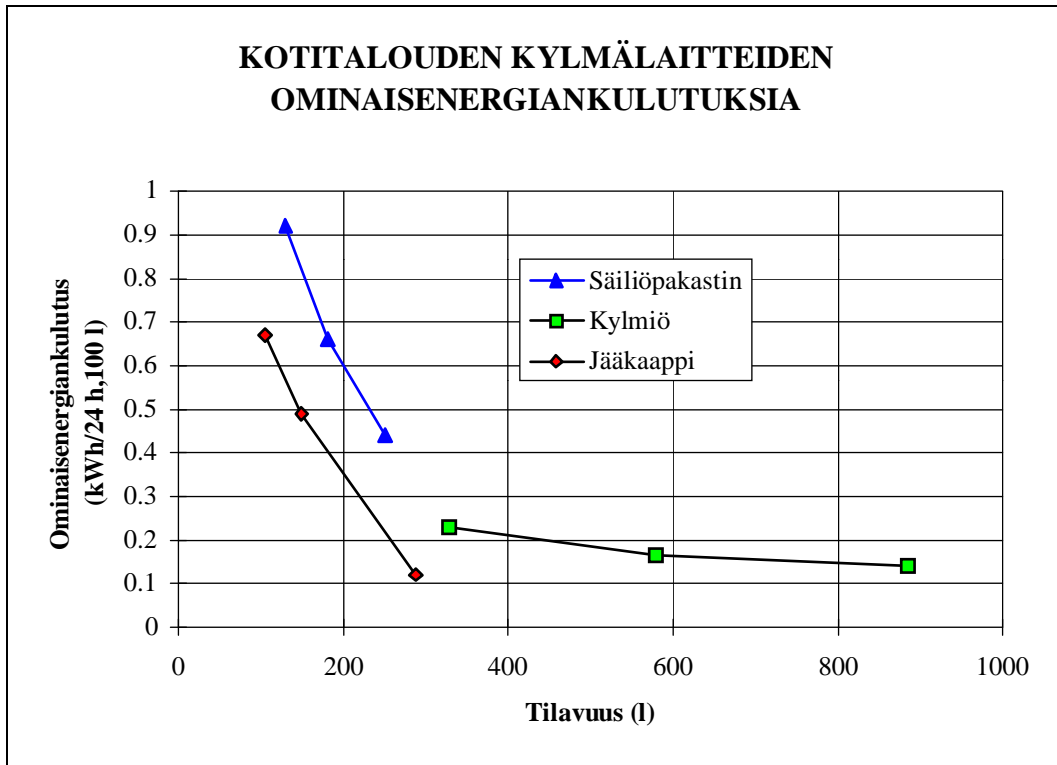
Merkittävimmät tehontarpeet ovat ruuan nopeaan jäähdytykseen tarkoitetuilla pakastus -ja jäähdytyskaapeilla. Säilytyslaitteiden liitäntätehot ovat verrannollisia kaapin tai huoneen kokoon.

2.4.1 Kylmälaitteiden ominaiskulutuksen tunnusluvut

Ominaisenergiankulutus ja -tehontarve määritettiin kylmiöissä, jääkaapeissa ja pakastimissa laitteen käyttötilavuutta kohti vuorokaudessa. Tilavuus mittaa parhaiten säilytyslaitteen tuottamaa palvelua. Kotitalouden kylmälaitteissa käytetään tilavuusyksikkönä 100 litraa ja suurtalouden kylmä -ja pakastehuoneissa yhtä kuutiometriä. Ominaisenergiankulutus laskettuna tilavuusyksikköä kohti on suurempi pienillä laitteilla ja päinvastoin (Kuva 17). Keskimääräiset kotitalouden kylmälaitteiden ominaisenergiankulutukset vaihteluvälineen on esitetty taulukossa 10 /23/.

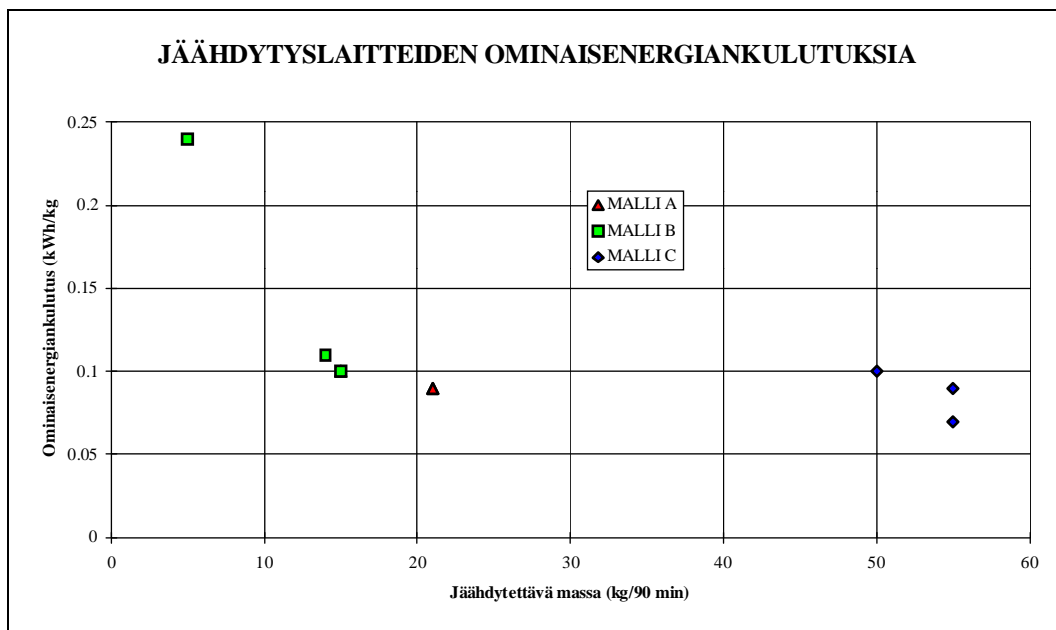
Taulukko 10. Kotitalouden kylmälaitteiden ominaisenergiankulutuksia /23/.

Laiteryhmä	Palvelu (tilavuus l)	Ominaisenergiankulutus (kWh/24 h,100 l)
Jääkaapit	109 - 323	1,06 - 0,12
Kaappipakastimet	55 - 308	2,55 - 0,42
Säiliöpakastimet	125 - 580	0,88 - 0,22
Kylmiöt	320 - 885	0,22 - 0,14



Kuva 17. Tyypillisiä kotitalouden kylmälaitteiden ominaisenergiankulutuksia /19/.

Jäähdytyslaitteiden ominaisenergiankulutus ja -tehtarve määritettiin jäähdytettävää kiloa kohti. Lämpötilan muutoksena jäähdytettävälle tuotteelle käytettiin +70 °C:sta +3 °C:een 90 min:ssa. Työtehoseuran tutkimuksessa /20/ tarkasteltiin ruoan nopeaan jäähdyttämiseen tarkoitettujen laitteiden energiankulutusta. Jäähdytyslaitteiden ominaisenergiankulutus oli melko sama riippumatta jäähdytettävästä massasta, koska suurin osa käytetystä energiasta kuluu jäähdytettävän tavaran lämpötilanmuutokseen. Laitteen johtumishäviöt ympäristöön olivat merkityksettömiä verrattuna kokonaiskulutukseen. Vain laitteen jäähdytyskapasiteetti verrattuna pienillä tuotemäärillä ominaisenergiankulutus oli noin kaksinkertainen (Kuva 18, Malli B).



Kuva 18. Jäähdytyslaitteiden ominaisenergiankulutuksia. Lämpötilan muutos jäähdytettävälle tuotteelle +70 °C:sta +3 °C:een 90 min:ssa.

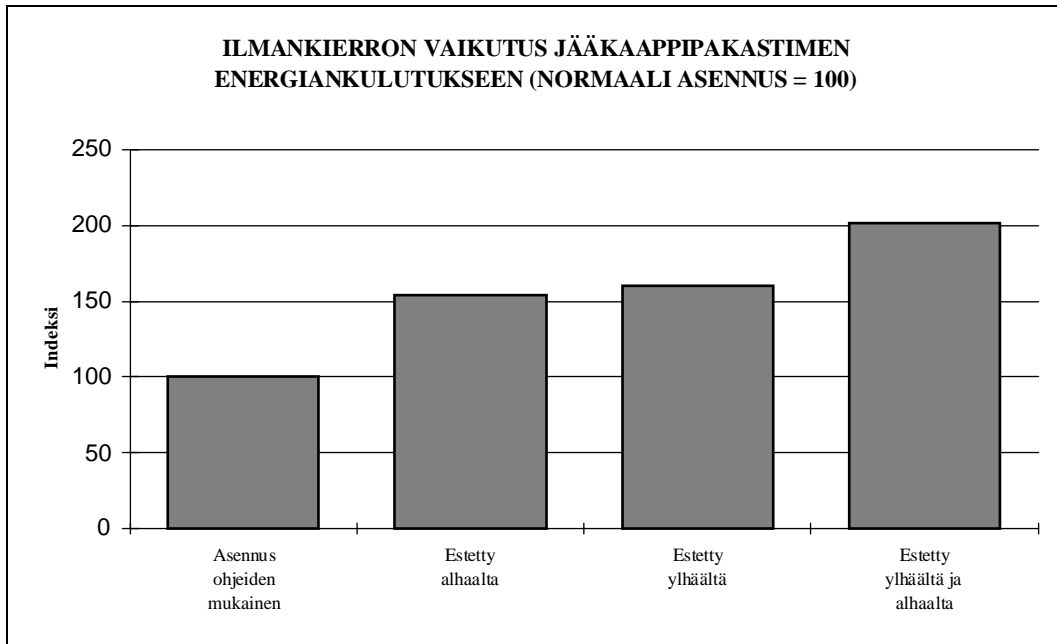
Suurkeittiöiden kylmälaitteiden ominaisenergiankulutukset on otettu lähteen /25/ seurantamittauksista (Taulukko 11). Jäähdytyskaapin arvot ovat lähteestä /20/. On huomattava, että seurantamittaukset on suoritettu käytössä olevassa keittiössä, jolloin kulutuksissa on mukana laitteen ominaiskulutuksen lisäksi käytön tuoma lisäenergiankulutus. Käytöllä tarkoitetaan tavaran vaihtumisesta ja ovien aukomisesta tullutta lisää energiankulutukseen.

Taulukko 11. Suurkeittiön kylmälaitteiden ominaisenergiankulutuksia.

Laiteryhmä	Palvelu tilavuus tai massa	Ominaisenergiankulutus (kWh/24 h, m ³) tai (kWh/kg)
Jääkaapit	1,06 m ³	9,43 kWh/24 h, m ³
Kylmähuoneet	75,48 m ³	0,20 kWh/24 h, m ³
Pakastuhuone	12,98 m ³	1,23 kWh/24 h, m ³
Pakastekaappi	0,53 m ³	23,74 kWh/24 h, m ³
Jäähdytyskaapit	21 - 55 kg _{90 min:ssa}	noin 0,09 kWh/kg

2.4.2 Suunnitteluratkaisun vaikutus

Työtehoseuran tutkimuksessa /18/ on mitattu kotitalouden jääkaappi-pakastimien käytön, ilmankierron, sijoituksen ja kaapistoasennuksen vaikutusta energiankulutukseen. Tutkimuksessa havaittiin, että asennusohjeiden mukaan asennettu jääkaappi-pakastin kuluttaa noin 11 % enemmän energiaa kuin vapaassa asennuksessa. Mikäli ilmankiertoa estettiin keinotekoisesti, laitteen energiankulutus kasvoi 10 - 160 % (Kuva 19). Kylmälaitteen viereen asennetun astianpesukoneen päivittäinen käyttö lisäsi energiankulutusta 9 - 18 %. Vastaavasti asennettu uuni lisäsi energiankulutusta 12 - 22 %.

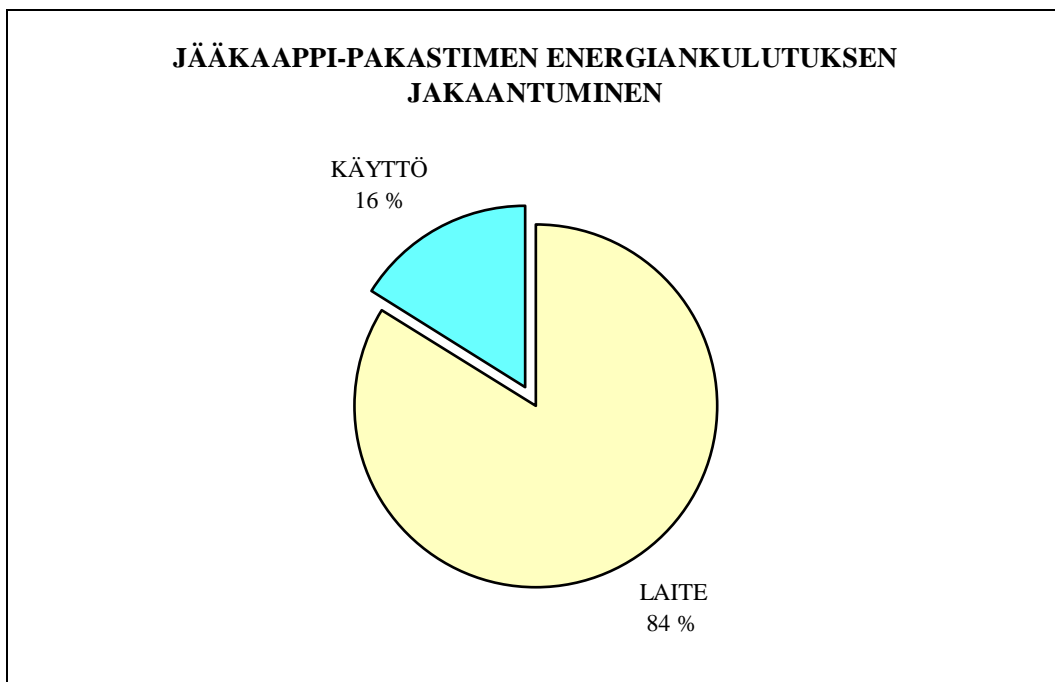


*Kuva 19. Ilmankierron vaikutus keittiökaluksiin asennetun kylmälaitteen kulu-
tukseen keskimäärin /18/.*

Tärkeää onkin, että kylmälaitteet asennetaan huolellisesti asennusohjeiden mukaan ja että varmistetaan riittävä ilman kierto. Suositeltavaa on myös jättää kylmäsäilytyslaitteen yläpuolella olevan yläkomeron taakse ilmankiertotila, mikäli tämä on mahdollista. Keittiökaluksien sijoitussuunnittelussa kannattaa välttää kylmälaitteen viereen asennettavia lämmönlähteitä.

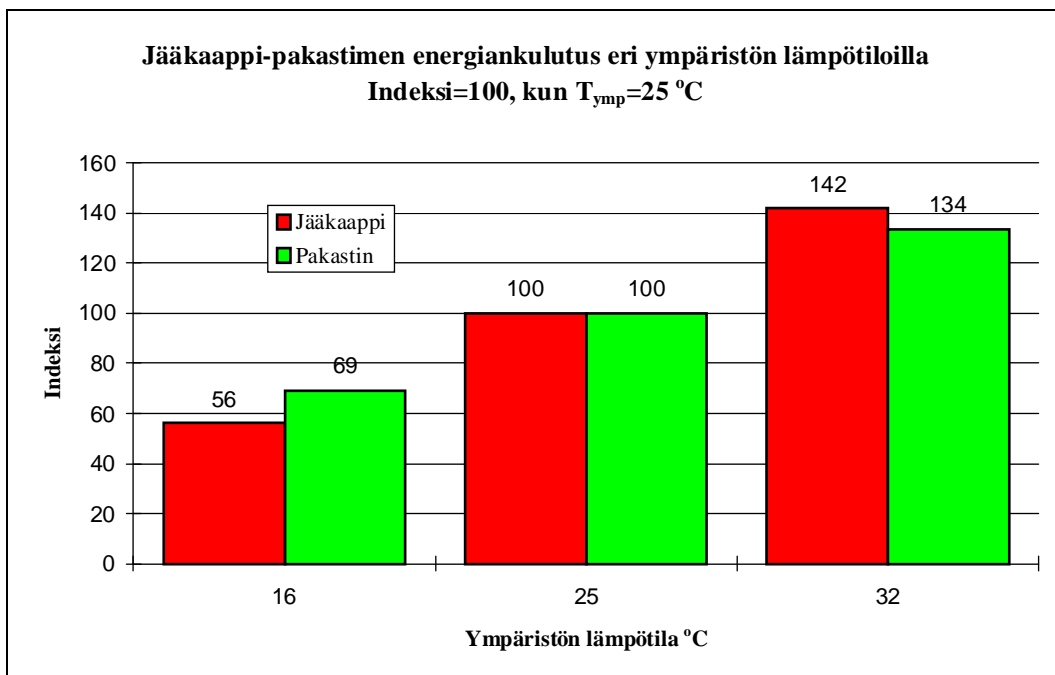
Käytön vaikutusta energiankulutukseen mallinnettiin täyttämällä jääkaappi elintarvikkeilla ja koepakkauksilla. Päivittäisiä käyttötilanteita jäljitettiin poistamalla ja lisäämällä elintarvikkeita jääkaapista kolmesti päivässä. Pakastimessa ei pakastettu suuria määriä, vaan poistettiin ja lisättiin kerran päivässä yksi koepakkaus. Käyttö nosti jääkaappi-pakastimen energiankulutusta 13 - 18 %. Lisäksi havaittiin, että pelkkä jäähtyneiden ja pakastettujen elintarvikkeiden säilyttäminen lisäsi energiankulutusta 1 - 8 %. Tämä johtunee kuormauksen vaikutuksesta laitteen sisäiseen ilmankiertoon, joka vaikuttaa termostaatin anturin aistimaan lämpötilaan. Kylmälaitteen kuormaus tulee suorittaa siten, että vapaa ilman kierto kaapin sisällä ei esty.

Keskiarvona energiankulutuksen jakaantumista mitatuista neljästä jääkaappi-pakastimesta esittää kuva 20. Kuvasta voidaan päätellä, että oikein käytetyn kylmälaitteen energiankulutuksesta suurin osa kuluu itse laitteessa. Tällöin merkittävimmät energian säästöt saadaan kylmälaitteiden tekniikkaa kehittämällä.



Kuva 20. Jääkaappi-pakastimen keskimääräinen energiankulutuksen jakauma käytön ja laitteen välillä kotitaloudessa /18/.

Kylmälaitteen sijoituspaikan ympäristölämpötilan vaikutusta energiankulutukseen arvioitiin Työtehoseuran v. 1987 mittaamien jääkaappi-pakastimien energiankulutuksista /26/. Kuvassa 21 on esitetty mitattujen laitteiden energiankulutuksen keskimääräinen riippuvuus sijoitusympäristön lämpötilasta.

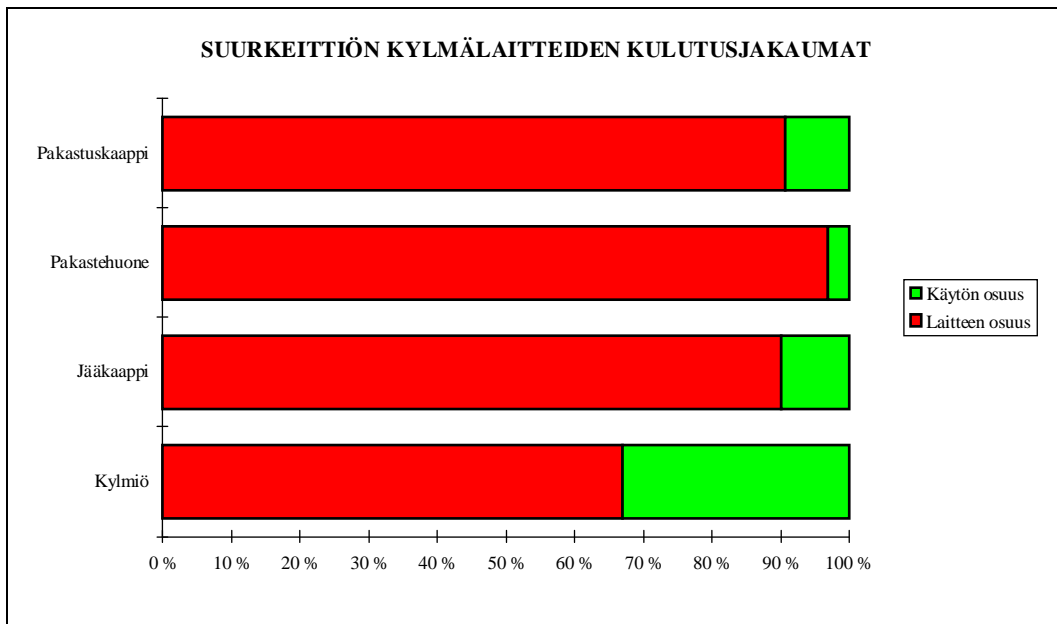


Kuva 21. Jääkaappipakastimen energiankulutuksen riippuvuus sijoitusympäristön lämpötilasta /26/.

Suurkeittiöiden kylmälaitteiden energiankulutuksen jakauma on esitetty kuvassa 22. Kuva on muokattu lähteen /25/ suurkeittiön seurantamittauksista.

Kuvasta 22 voidaan päätellä, että kylmähuoneissa käytön osuus energiankulutuksesta on merkittävä. Tässä käytöllä tarkoitetaan tavaran vaihtuvuuden ja ovien aukaisujen tuomaa osuutta energiankulutuksesta. Säästöjä on saatavissa pienentämällä turhia käyntejä sekä siirtämällä tulevat tavarat ilman katkoksia kylmähuoneeseen. Merkittävin osa muiden laitteiden energiankulutuksesta menee laitteen osalle. Laitteen osuuteen luetaan sisälämpötilan ylläpitämiseen tarvittava energiankulutus. Mittaukset on tehty erikseen arkipäivinä (kokonaiskulutus) ja viikonloppuisin (pelkkä laitteen kulutus).

Taulukossa 12 on esitetty yhteenvetona arviot eri käyttöympäristötekijöiden vaikutusta koti- ja suurtalouksien kylmälaitteiden energiankulutukseen. Vertailukohtana käytetään laitteen sijoitusta huoneen lämpötilaan ilman tavaranvaihtoa. Energiankulutusvaikusta tulee pitää suuruusluokkaa ilmaisevana. Luvut saattavat vaihdella laitevalmistajakohtaisesti.



Kuva 22. Suurkeittiöiden kylmäkalusteiden energiankulutuksen jakaantuminen laitteen ja käytön osalle /25/. Käytöllä tarkoitetaan tavaran vaihtumisesta ja ovien aukomisesta tullutta lisää energiankulutukseen.

Taulukko 12. Yksittäisten käyttöympäristötekijöiden vaikutus kylmälaitteen energiankulutukseen.

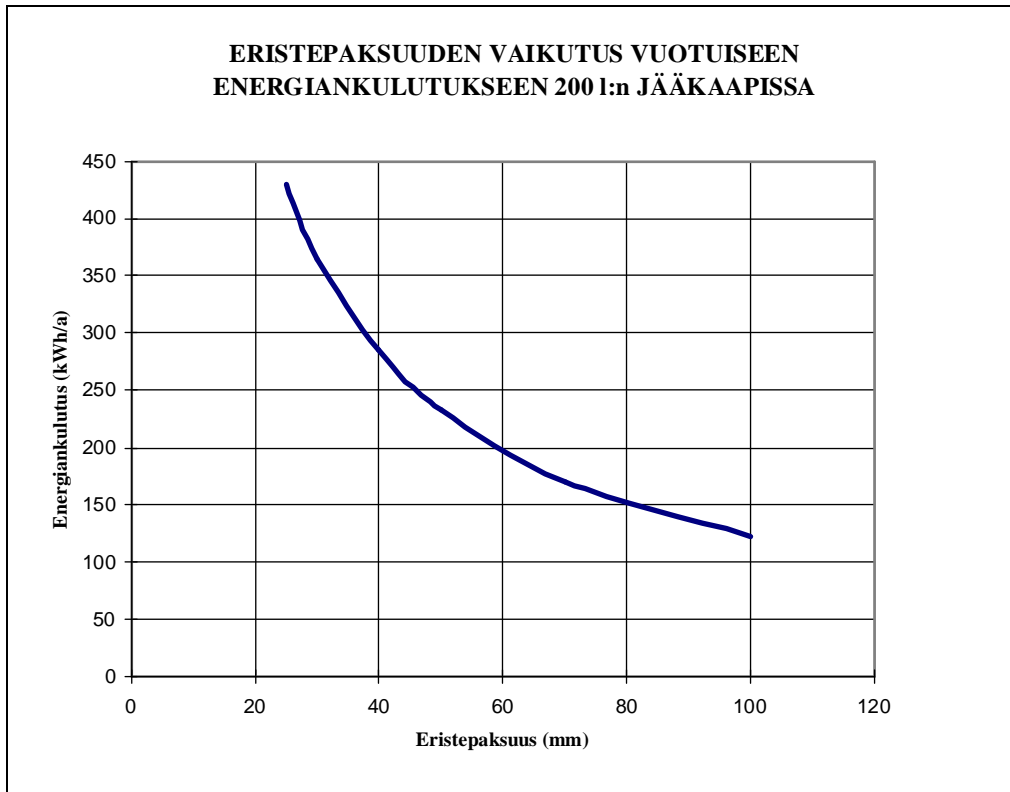
Ympäristövaikutus	Laite	Käyttöpaikka	Energiankulutusvaikutus
Kylmälaitteen vieressä lämmönlähde (uuni, astianpesukone)	Jääkaappi-pakastin	Kotitalous	+9 - 22 %
Normaali käyttö + tavaranvaihto	Jääkaapit,kylmiöt	Kotitalous	+13 - 18 %
Sijoitus kaapistoon + huono ilmankerto	Jääkaapit,kylmiöt	Kotitalous	+10 - 100 %
Normaali käyttö + tavaranvaihto	Kylmähuone	Suurkeittiö	noin +30 %
Normaali käyttö + tavaranvaihto	Jääkaappi, pakastuskaappi ja-huone	Suurkeittiö	+3 - 10 %
Ympäristön lämpötila 16 °C	Jääkaappi-pakastin	Kotitalous	noin -36 %
Ympäristön lämpötila 32 °C	Jääkaappi-pakastin	Kotitalous	noin +39 %

2.4.3 Laiteominaisuuksien vaikutus

Eristeet /17/

Kylmälaitteissa käytetään eristeinä yleensä polyuretaanivaahtoa, joka on tehokkain ja helppokäyttöisin eristemateriaali. Eristeen paisutukseen käytettiin aikaisemmin CFC-yhdisteitä kuten R11. CFC-yhdisteistä luopuminen on tuonut markkinoille uusia ilmakehän otsonikerrokselle vähemmän haitallisia yhdisteitä, jotka eivät ole eristysominaisuuksiltaan aivan yhtä hyviä kuin vanhat CFC-yhdisteet. Korvaavilla yhdisteillä paisutettujen eristeiden mitatut lämmönjohtavuudet ovat olleet noin 10 % heikompia kuin R11:n. Polyuretaanieristeiden eräänä ongelmana on ikääntymisen tuoma eristyskyvyn heikkeneminen. Tähän on syynä eristekaasun diffuusio solukosta ulos ja korvaantuminen ilmalla. Kylmälaitteissa eriste on yleensä diffusiotiiviisti suljetussa tilassa, joten ikääntyminen ei ole aivan yhtä nopeaa kuin vapaassa tilassa olevan eristein.

Kylmälaitteen energiankulutukseen vaikuttaa myös eristein paksuus. Kuvassa 23 on esitetty esimerkki eristepaksuuden vaikutuksesta jääkaapin vuotaiseen energiankulutukseen. Normaali eristyspaksuus jääkaapeissa on noin 30 - 40 mm.



Kuva 23. Eristepaksuuden vaikutus 200 l:n jääkaapin vuotuisen energiankulutukseen /17/. Normaali eristyspaksuus jääkaapeissa on noin 40 mm.

Kompressori

Kylmälaitteissa käytetään yleisesti hermeettisiä mäntäkompressoreja, jotka ovat tekniikaltaan luotettavia ja melko pitkälle kehittyneitä. Kompressorin jäähdytyskapasiteetin ja sähkötyön suhdetta nimitetään kylmäkertoimeksi, COP, joka saadaan kaavasta:

$$COP = COP_t * \eta_i * \eta_{mk} * \eta_m , \quad (5)$$

jossa

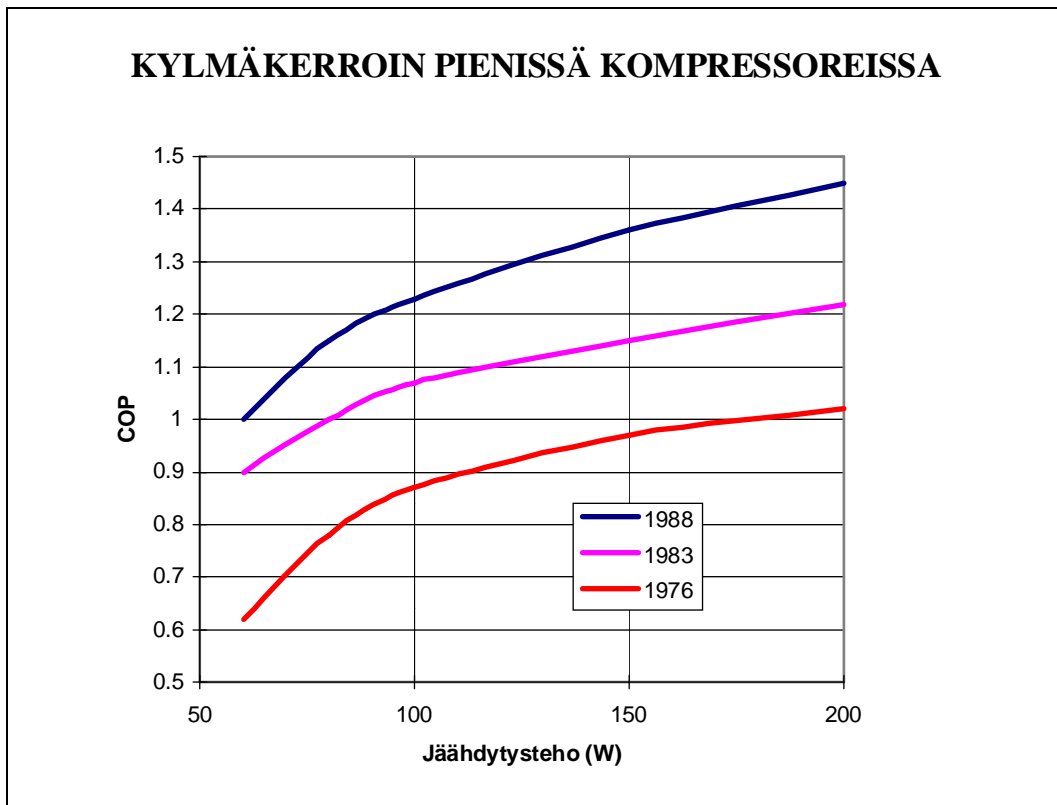
COP_t on häviöttömän prosessin kylmäkerroin

η_i on indikoitu hyötysuhde

η_{mk} on mekaaninen hyötysuhde

η_m on sähkömoottorin hyötysuhde

Indikoidut häviöt koostuvat puristuksessa tapahtuvista häviöistä, kuten haitallisesta tilasta, venttiilien painehäviöistä, vuodoista ym. Mekaaniset häviöt syntyvät kitkan vaikutuksesta laakereissa, sylinterissä jne. Sähkömoottorin häviöt muodostuvat moottorin sisäisistä sähköisistä ja mekaanisista häviöistä. Häviöttömän prosessin kylmäkerroin on riippuvainen kylmäkoneiston toimintalämpötiloista. Kompressorin hyötysuhteiden tulo eli kokonaishyötysuhde vaihtelee 35 - 42 %. Kuvassa 24 on esitetty pienten mäntäkompressorikoneistojen kylmäkertoimien kehitys valmistusvuoden mukaan eri jäähdytystehoilla. Jääkaappien kompressoreista suurimman osan kylmäkerroin on nykyään korkeampi kuin 1,08 /17/.



Kuva 24. Pienten mäntäkompressorikoneistojen kylmäkertoimen kehittyminen valmistusvuoden mukaan eri jäähdytystehon arvoilla /17/.

Kylmäaineet /17/

Kylmlaitteissa on käytetty aikaisemmin yleisesti R12:ta kylmäaineena. R12 kuuluu haitallisiin CFC-yhdisteisiin, joiden käyttö on nykyään kielletty. Korvaavia yhdisteitä on kehitetty. Tällaisia ovat mm. R152a, R134a, binääriseos R152a/124 ja erilaiset tertiääriseokset. R12:n korvaamisen vaikutus energiankulutukseen vaihtelee. Toisilla korvaavilla yhdisteillä kylmäkerroin hieman paranee ja toisilla heikkenee, toimintalämpötilojen mukaan. Nykyisin markkinoilla olevissa laitteissa käytetään valtaosin R134a:ta, jonka ominaisuudet korkeammissa höyrystymislämpötiloissa ovat lähes samat kuin R12:n. Kun höyrystymislämpötila laskee -20 °C:een, kylmäkerroin on noin 90 - 95 % R12:n arvosta.

Säätötavat /17/

Jääkaappien ja pakastimien säätö perustuu yleensä on-off-säätöön. On-off-säädössä kaapin sisälämpötila pidetään asetusarvossaan käyttämällä kompressoria termostaatin ohjaamana. Tällä säätömenetelmällä saadaan yksinkertainen ja luotettava rakenne, joka toimii suhteellisen energiaystävällisesti.

Kompressoreihin voidaan soveltaa myös jatkuvaa säätöä, jossa kompressorin käyntinopeutta säädetään portaattomasti sisälämpötilan asetusarvon mukaan ja höyrystimen paisuntaventtiiliä ohjataan siten, että höyrystimen tulistus pysyy mahdollisimman pienenä. Paisuntaventtiilinä käytetään elektronisesti ohjattua venttiiliä. Jatkuvan säädön energiansäästö verrattuna on-off-säätöön on teoriassa noin 15 - 30 %. Käytännön kokemuksia ja mittauksia ei kuitenkaan ole saatavana.

Suurtalouslaitteiden erikoisominaisuudet

Suurtalouden kylmälaitteet ovat huomattavasti suurempia energiankuluttajia kuin kotitalouden kylmälaitteet. Ero johtuu laitteiden hieman erilaisesta rakenteesta. Suurtalouden kylmälaitteissa käytetään höyrystimelle ja lauhduttimelle puhaltimia, jotka lisäävät sähkönkulutusta. Puhaltimilla tehostetaan lämmönsiirtoa sekä säilytettävien tuotteiden ja sisäilman välillä että höyrystimellä ja lauhduttimella. Höyrystimen sulatusvesi haihdutetaan sähkövastuksilla. Lisäksi pakastinmalleissa on oven karmien lämmitysvastukset hikoilun ja jäätymisen estämiseksi.

2.4.4 Säästömahdollisuudet

Kylmälaitteiden energiankulutusta voidaan pienentää esim. parantamalla lämmöneristystä, optimoimalla kompressorin ja lämmönsiirtimien energiankulutusta sekä etsimällä uusia ja tehokkaampia kylmäaineita. Teknis-taloudellisen optimoinnin vuoksi kaikkia olemassa olevia tekniikoita ei voida käyttää niiden kalleuden vuoksi. Peruslähtökohtana on löytää hyviä ja samalla halpoja ratkaisuja energiankulutuksen pienentämiseen, koska viime kädessä kuluttaja ostaa halvemman laitteen, joka kuluttaa energiaa enemmän, kuin kalliimman energiaa säästävän laitteen.

Seuraavassa on luettelo /17/ eräistä energian säästömahdollisuuksista:

- Kasvatetaan eristepaksuutta.
- Käytetään ovissa kaksoistiivistettä.
- Parannetaan polyuretaanieristeiden eristekykkyä. Lämmönjohtavuuden arvo 0,014 - 0,016 W/mK mahdollista saavuttaa.
- Käytetään eristeinä tyhjiöpaneeleita. Lämmönjohtavuus 0,007 W/mK ja jopa alhaisempia arvoja saavutettu.
- Kompressorin parannukset. Kylmäkerroin 1,2 on helposti saavutettavissa ja kompressoreista, joiden kylmäkerroin on 1,46, on raportoitu.
- Höyrystimen lämmönsiirron parantaminen kasvattamalla pinta-alaa.

Lähteessä /17/ tehdyissä simulointilaskelmissa havaittiin, että suurin vaikutus vuotuisen energiankulutukseen on kompressorin kylmäkerroimen parantamisella sekä

tyhjiöeristeiden käytöllä ja perinteisen uretaanieristyksen lämmönjohtavuuden pienentämisellä. Energiansäästövaikutus on noin 10 - 40 %.

Energiansäästäviä keinoja kylmälaitteiden käytölle suurkeittiöissä /22/:

- Lauhduttimen säännöllinen puhdistus (säästö noin 20 %).
- Lasiovelliset kalusteet umpiovellisiksi (säästö 40 - 220 %).
- Lauhdelämpö talteen.
- Ovien tiivisteiden kunnon seuranta.
- Oikeat säilytyslämpötilat.
- Keskuskoneen käyttö.
- Höyrystimen säännöllinen sulatus, jos se ei ole automaattinen.
- Oikea täyttö, ei ylikuormasta, jotta laitteen sisäpuolinen ilmankierto ei esty.
- Energiankulutusominaisuudet mukaan suunnitteluun.
- Energiankulutuksen ja laitteiden sisälämpötilojen tulisi olla seurattavia.

2.5 VALAISTUS

Valaistuksella pyritään luomaan näkötehtävien suorittamiselle riittävän hyvät olosuhteet. Hyvän valaistuksen tärkeimmät ominaisuudet ovat seuraavat:

- Luminanssijakauma työalueella on sopiva.
- Luminanssijakauma huonepinnoilla on sopiva ja suhteutettu edelliseen.
- Valaisimet eivät häikäise.
- Kontrasti näkökohteen ja taustan välillä on riittävä.
- Valaistustaso on riittävä.
- Ympäristö ja esineet näyttävät luonnollisilta ja oikeanvärisiltä.
- Häiritseviä ääniä, lämpöä ja vilkkumista ei esiinny.
- Asennus on helposti huollettavissa.

Edellisestä huomataan, että valaistustuloksen arvosteluun vaikuttaa valaistustason lisäksi moni muukin tekijä. Hyvän työ- ja näköympäristön toteuttaminen edellyttää aina myös luminanssijakauman, tilan valoisuuden ja häikäisytekijöiden ottamista huomioon.

Valaistuksen sähkönkulutukseen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri ryhmään (Taulukko 13): valaistuksen tuottamaan palveluun, suunnitteluratkaisusta ja käytöstä riippuviin ns. ympäristötekijöihin sekä valaistuksessa tarvittavien laitteiden sisäisiin ominaisuuksiin.

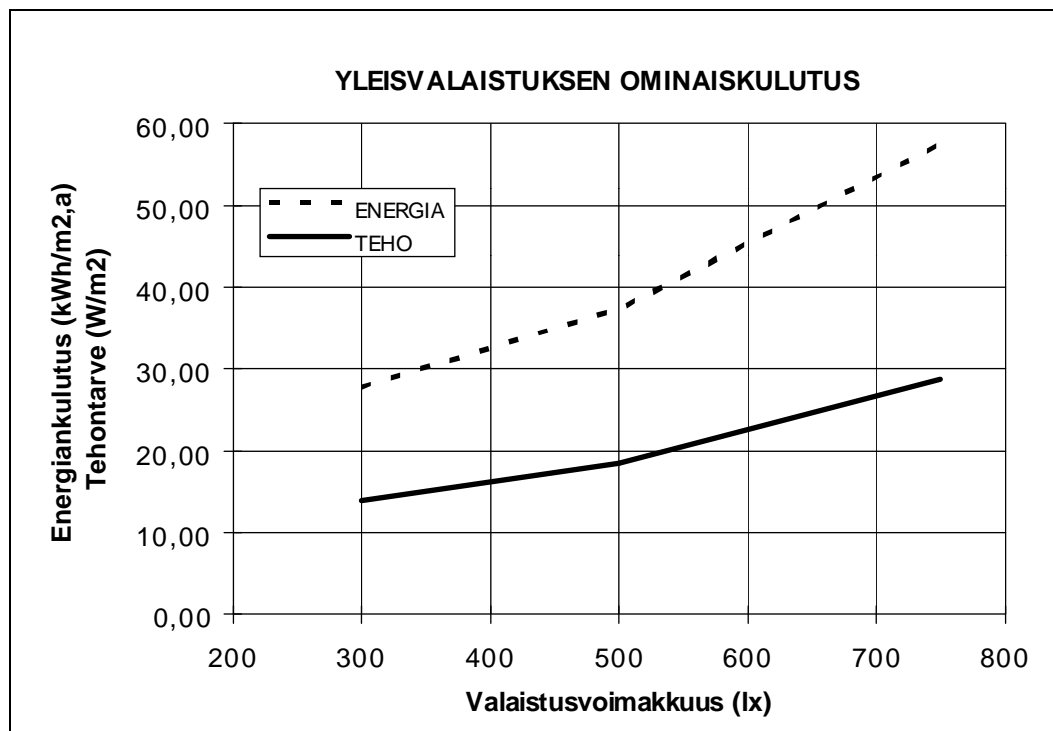
Taulukko 13. Valaistuksen sähkönkulutukseen vaikuttavat tekijät.

TUOTETTU PALVELU	YMPÄRISTÖ - Suunnittelu - Käyttö	LAITEOMINAISUUDET
Hyvä näköympäristö	Suunnittelu - valaistusjärjestelmä - valaisinten sijoittelu - ohjaus ja säätöratkaisut - huonepintojen heijastus Käyttö - käyttöajat	Valonlähteen valotehokkuus Valaisimen hyötysuhde Valaistushyötysuhde

Hyvä näköympäristö valaistuksen tuottamana palveluna ei ole tällä hetkellä kuvattavissa vain yhdellä suurella, vaan vaatii useiden erilaisten näkemiseen vaikuttavien tekijöiden tarkastelemista. Tulevaisuuden tavoitteena on kehittää uusi, lähes kaikki näkemiseen vaikuttavat tekijät huomioon ottava suure valaistuksen arvosteluun. Kehitystyö on kuitenkin vielä kesken, joten tässä projektissa tehontarpeen ja energiankulutuksen ominaisarvot päädyttiin esittämään pinta-alayksikköä (m²) kohden.

2.5.1 Valaistuksen ominaissähkönkulutus

Tällä hetkellä tyypillinen toimistotilojen valaistus perustuu lähinnä suoraan valaistusjärjestelmään loistelamppuvalaisimilla toteutettuna. Kuvassa 25 on esitetty yleisvalaistuksella toteutetun pienen toimistohuoneen (noin 10 m²) valaistuksen ominaistehontarve ja -energiankulutus pohjautuen Raket-projektissa T-504 ”Sähkölaitteiden ja ilmastoinnin integroitu säätö” /30/ tehtyihin laskelmiin.



Kuva 25. Tyypillinen valaistuksen ominaisenergiankulutus ja -tehontarve pienessä toimistohuoneessa. Valaistusjärjestelmä yleisvalaistus, loistelamppuvalaisimet perinteisin kuristimin.

2.5.2 Suunnitteluratkaisun vaikutus

Valaistusjärjestelmät voidaan karkeasti jakaa suoraan ja epäsuoraan valaistukseen sekä niiden eriasteisiin yhdistelmiin:

- suora valaistus
 - yleisvalaistus
 - kohdennettu yleisvalaistus
- epäsuora valaistus
- suora-epäsuora valaistus.

Valaistussuunnittelu ja -suositukset perustuvat tällä hetkellä pääosin valaistusvoimakkuustasoihin /34/. Tämä on suosinut suoraa valonjakotapaa hyödyntäviä valaistusratkaisuja, joista kohdennetulla yleisvalaistuksella päästään noin 20 - 25 % pienempään tehontarpeeseen ja energiankulutukseen kuin kuvassa 25 esitetyllä yleisvalaistuksella. Tällöin kuitenkin tilan muunneltavuus muodostuu

yleisvalaistusta rajoittuneemmaksi, ellei valaisinten paikan vaihteluun ole suunnitteluvaiheessa varauduttu esim. erilaisten kiskorakenteiden avulla.

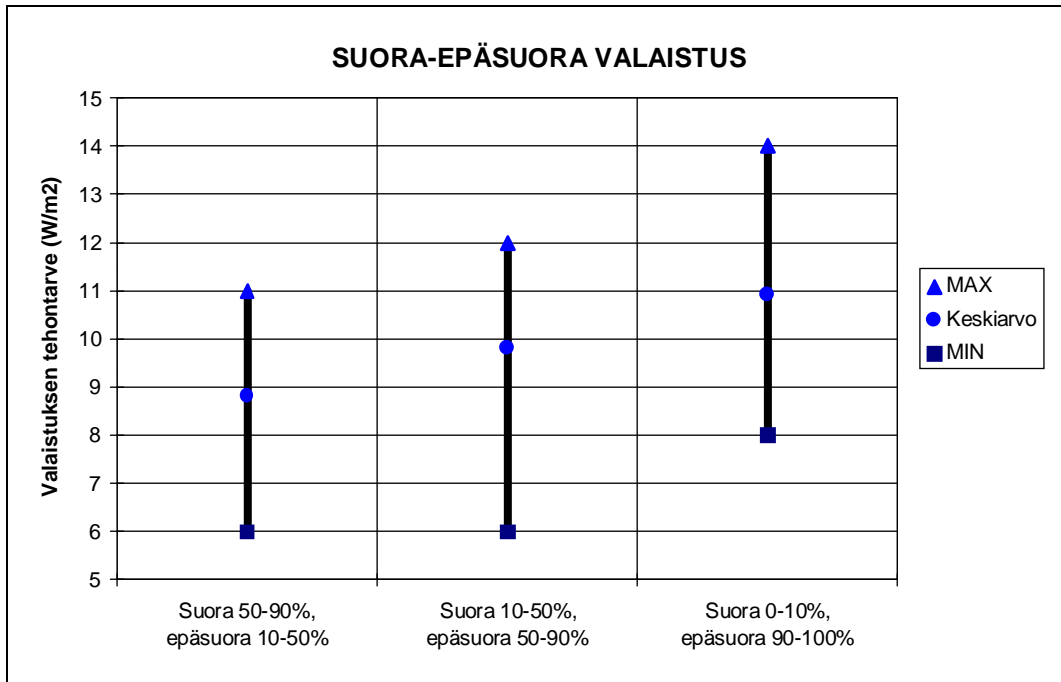
Hyvän valaistuksen toteuttaminen edellyttää kuitenkin myös luminanssijakauman, kontrastintoistosuhteen ja häikäisytekijöiden huomioon ottamista. Ruotsalainen NUTEK on laatinut vaatimukset /35/, jotka hyvän ja energiatehokkaan valaistuksen tulee täyttää. Valaisinvalmistajien tarjoamista valaistusratkaisuista ei yksikään suoraan valaistukseen perustunut ratkaisu täyttänyt hyvälle valaistukselle asetettuja vaatimuksia. Toisaalta yksikään täysin epäsuora valaistusratkaisu ei myöskään kyseisiä vaatimuksia täyttänyt ilman erillistä työpöytävalaisinta (=suora komponentti). Vaatimukset täyttävät valaistusratkaisut perustuivat kaikki suoran ja epäsuoran valonjakotavan yhdistelmille (Kuva 26).

Tärkeimmät näköympäristöön ja energiatehokkuuteen liittyvät NUTEK:n vaatimukset ovat seuraavat:

- Valaistusvoimakkuus, lukualue ≥ 500 lx
- työskentelyalue ≥ 300 lx
- yleisvalaistus ≥ 100 lx
- pystypinnoilla ≥ 100 lx
- Luminanssi, näköalueella < 1000 cd/m²
- näköalueen ulkopuolella < 2000 cd/m²
- Kontrastintoistosuhde lukualueella ≥ 85 %
- Pintojen heijastuskerroin, katto > 80 %
- ikkunaseinä > 70 %
- muut seinät > 60 %
- lattia 20 - 40 %
- pöytä 30 - 60 %
- Elektronista liitäntälaitetta on käytettävä

NUTEK:n ja Raket T-504:n tulosten perusteella on valaistustulokseltaan ja energiatehokkuudeltaan paras valaistusjärjestelmä suora-epäsuora valaistus, jossa osa valosta suunnataan alaspäin suoraan kohteeseen ja osa ylöspäin katon tai valaisinrakenteeseen kuuluvan heijastimen kautta heijastettavaksi.

Näkemisen kannalta oleellista on valon tulo sellaisista suunnista, että se ei heijastu kohteesta katselijan silmiin. Siten osa valon määrästä on lähes aina näkemisen kannalta haitallista. Ns. todellinen valaistusvoimakkuus tarkoittaa valon määrää, josta on vähennetty haitallisesta suunnasta tulevan valon vaikutus. Uusimpien tutkimusten mukaan riittävä todellinen valaistusvoimakkuus toimistotyössä olisi niinkin alhainen kuin 200 lx. /36/

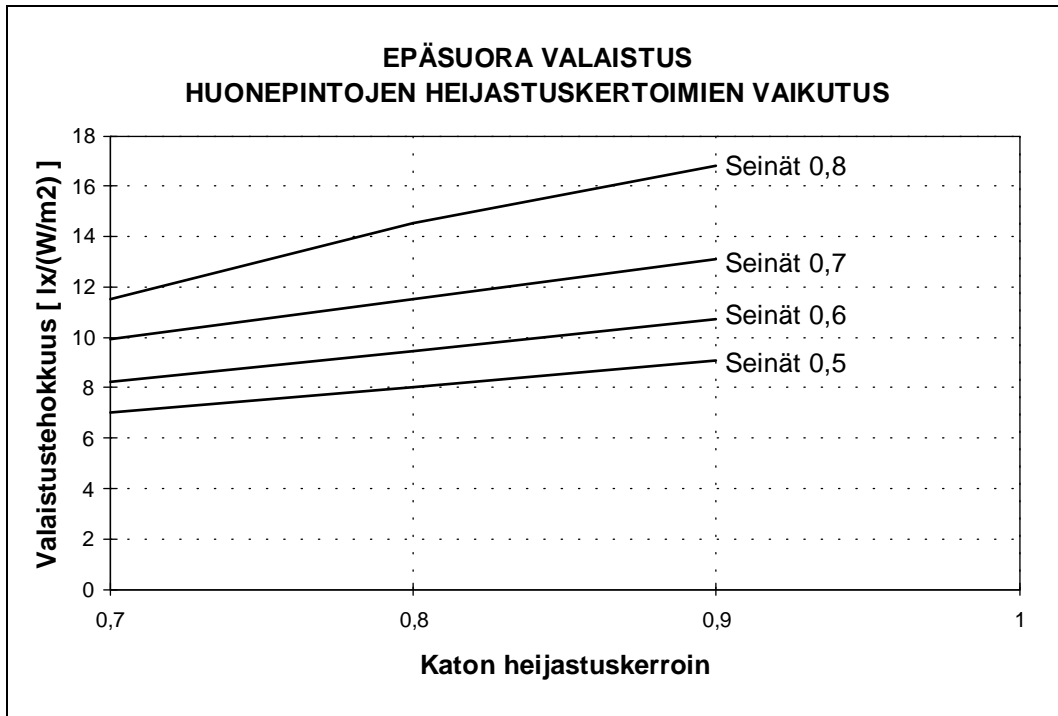


Kuva 26. Valmistajien tarjoamien 34 erilaisen, NUTEKin vaatimukset täyttävän valaistusratkaisun tehontarpeen vaihtelu erilaisilla suoran ja epäsuoran valonjakotavan yhdistelmillä /37/.

Epäsuoraa valaistusta käytettäessä korostuu huoneen pintojen, erityisesti katon ja seinien, heijastuskertoimien vaikutus valaistustehokkuuteen (Kuva 27). Seinien vaikutus on suurimmillaan pienessä huoneessa. Seuraavassa on verrattu tyypillisten, voimassa olevien valaistussuunnitteluohjeiden mukaisilla heijastuskertoimilla ja NUTEKin vaatimusten mukaisilla ja mittauksissaan käyttämällä heijastuskertoimilla saavutettavaa valaistustehokkuutta pienessä toimistohuoneessa käytettäessä täysin epäsuoraa valonjakotapaa:

- Perinteinen käytäntö (katto 0,7 ja seinät 0,5) 7,0 lx/(W/m²)
- NUTEKin vaatimukset (katto 0,8 ja seinät 0,7) 11,5 lx/(W/m²) + 64 %
- NUTEKin mittaukset, kuva 26 (katto 0,93 ja seinät 0,85) 20,5 lx/(W/m²) +193 %

Edellisestä huomataan, miten tärkeää huoneen ominaisuuksien määrittely on epäsuoraa valaistusta käytettäessä. Valitettavasti valaistussuunnittelijalla on liian vähän vaikutusmahdollisuuksia pintojen väritystä ja heijastuskykyä määriteltäessä. Lisäksi tulos saattaa muuttua suunnitellusta urakkavaiheessa ja varsinkin rakennuksen myöhemmällä elinkaarella (esim. äänenvaimennuslevyjen lisääminen).



Kuva 27. Katon ja seinien heijastuskertoimien vaikutus epäsuoran valaistuksen valaistustehokkuuteen pienessä toimistohuoneessa (noin 10 m²). Pienloistelamput, perinteinen kuristin.

Valaistusratkaisun energiatehokkuuteen voidaan järjestelmävalinnan lisäksi vaikuttaa säätö- ja ohjausjärjestelmän valinnalla. Perustasona ja tämän hetken tyypillisenä ratkaisuna voidaan pitää keskitettyä kytkin- tai kello-ohjausta. Kytkinohjausta käytettäessä saavutettu tulos riippuu paljon myös huoneen asukkaan käyttötottumuksista, mutta jatkossa on oletettu valaistuksen olevan päällä työajan klo 8-16. Muilla edistyneemmällä ohjausratkaisuilla voidaan valaistuksen energiankulutusta pienentää tyypillisessä toimistorakennuksessa seuraavasti /30/:

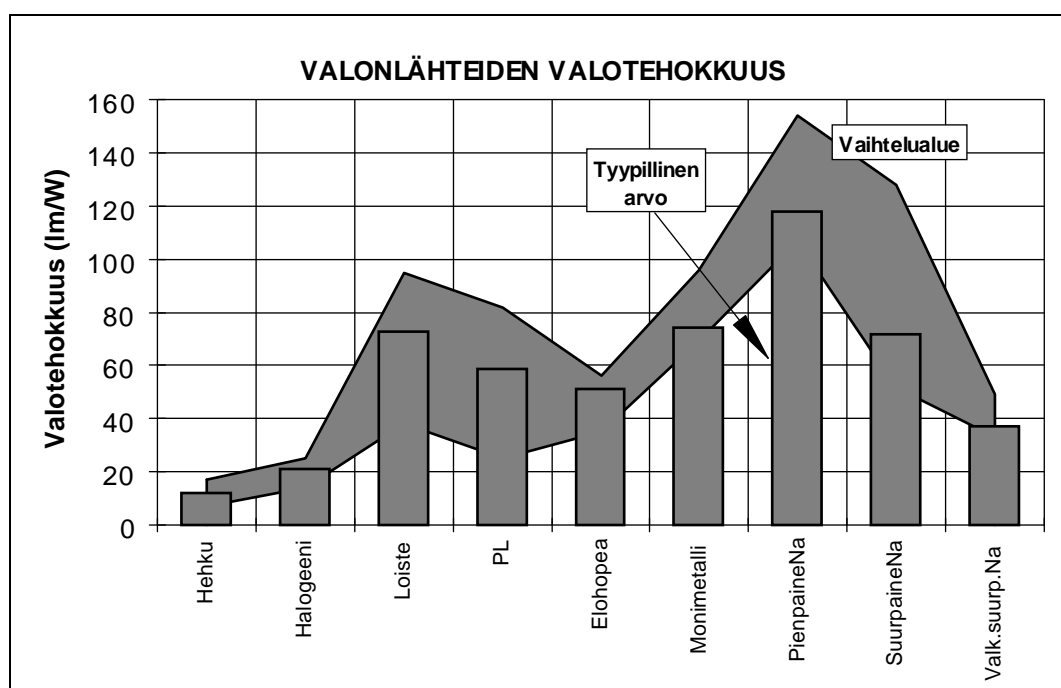
- Kytkin- tai kello-ohjaus perustaso
- Läsnaolo-ohjaus - 0 - 50 %
- Päivänvalo-ohjaus, etelävyöhyke - 38 - 50 %
- pohjoisvyöhyke - 22 - 33 %.

Läsnaolo-ohjauksella saavutettava säästö vaihtelee suuresti saman rakennuksen sisälläkin huoneiden käyttöasteiden mukaan. Esitetty vaihteluväli perustuu mitattuihin viiden huoneen viikkokeskiarvoihin insinööritoimistotyypillisessä ympäristössä. Päivänvalo-ohjauksen säästömahdollisuuksiin vaikuttaa ikkunoiden suuntauksen lisäksi niiden koko ja rakenne. Yhdistettäessä läsnaolo- ja päivänvalo-ohjaus on huomattava, että päivänvalo-ohjauksen säästövaikutus kohdistuu vain läsnaoloaikaan. Yhdistetyn ohjauksen säästöpotentiaali on tällöin etelähuoneessa 38 - 75 % ja pohjoishuoneessa 22 - 67 %.

2.5.3 Laiteominaisuuksien vaikutus

Valaistusjärjestelmän lisäksi valaistuksen valotehokkuuteen vaikuttaa käytettävien valonlähteiden valotehokkuus (Kuva 28). Toimistotilojen valaistuksessa käytettäviksi valonlähteiksi soveltuvat kuitenkin vain värinvalaistuso-ominaisuuksiltaan riittävän hyvät lamputyypit, joita ovat:

- hehku- ja halogeenilamput (paikallis- ja kohdevalaistus)
- loiste- ja pienloistelamput (yleis- ja kohdevalaistus)
- monimetallilamput (yleis- ja kohdevalaistus)
- muut purkauslamput (eivät yleensä sovellu sisävalaistukseen, poikkeuksena eräät värikorjatut suurpainenatriumlamputyypit).



Kuva 28. Erilaisten valonlähteiden tyypilliset valotehokkuudet (lm/W) sisätilojen valaistuksessa sekä vaihtelualueet. Liitäntälaittehäviöt ovat mukana.

Loistelamppujen perinteiset sähkömagneettiset kuristimet voidaan korvata elektronisilla liitäntälaitteilla, joiden avulla 50 Hz verkkojännite nostetaan suurtaajuiseksi 25 - 50 kHz. Tällöin loistelamppu toimii paremmalla hyötysuhteella, ja energiansäästö perinteiseen kuristimeen verrattuna on noin 20 - 25 %.

Toinen elektronisten liitäntälaitteiden ominaisuus on tasaisempi ja nopeampi syytyminen, joka voi lisätä lampun polttoikää jopa 50 %. Suuri käyttöaika parantaa lisäksi valovirran tasaisuutta ja poistaa verkkovirtaan liitettyjen loistelamppujen välkkymisilmiön, joka esim. näyttöpäätetyöskentelyssä lisää silmien rasitusta.

2.5.4 Säästömahdollisuudet

Seuraavassa on esitetty yhteenveto niistä mahdollisuuksista, joilla valaistuksen energiankulutusta voidaan pienentää. Tarkemmin säästömahdollisuuksia on käsitelty edeltävissä luvuissa.

Ottamalla valaistusratkaisun suunnittelussa huomioon energiansäästö sekä valitsemalla hyötysuhteeltaan hyvät valaisimet ja valonlähteet voidaan valaistuksen energiankulutusta pienentää seuraavasti:

- valaistuksen mitoitus näkemisen kannalta oleellisten tekijöiden mukaan
- suoran ja epäsuoran valaistuksen yhdistäminen
- katto- ja seinäpinnat mahdollisimman hyvin heijastavat
- valotehokkuudeltaan hyvät valonlähteet, toimistotiloissa loiste-, PL- ja monimetallilamput
- perinteisen kuristimen korvaaminen elektronisella liitäntälaitteella.

Lisäksi ensiarvoisen tärkeää on pyrkiä käyttämään valaistusta vain kulloisenkin tarpeen mukaan seuraavasti:

- käytännöksi valaistuksen sammuttaminen töistä lähdetessä sekä ruokailun ja pidempien poissaolojen ajaksi
- läsnäolo-ohjauksen toteuttaminen, jolloin valaistus sammuu automaattisesti tilasta poistumisen jälkeen
- vakiovalo-ohjauksen toteuttaminen, jolloin päivänvalolla voidaan korvata osa keinovalaistuksesta.

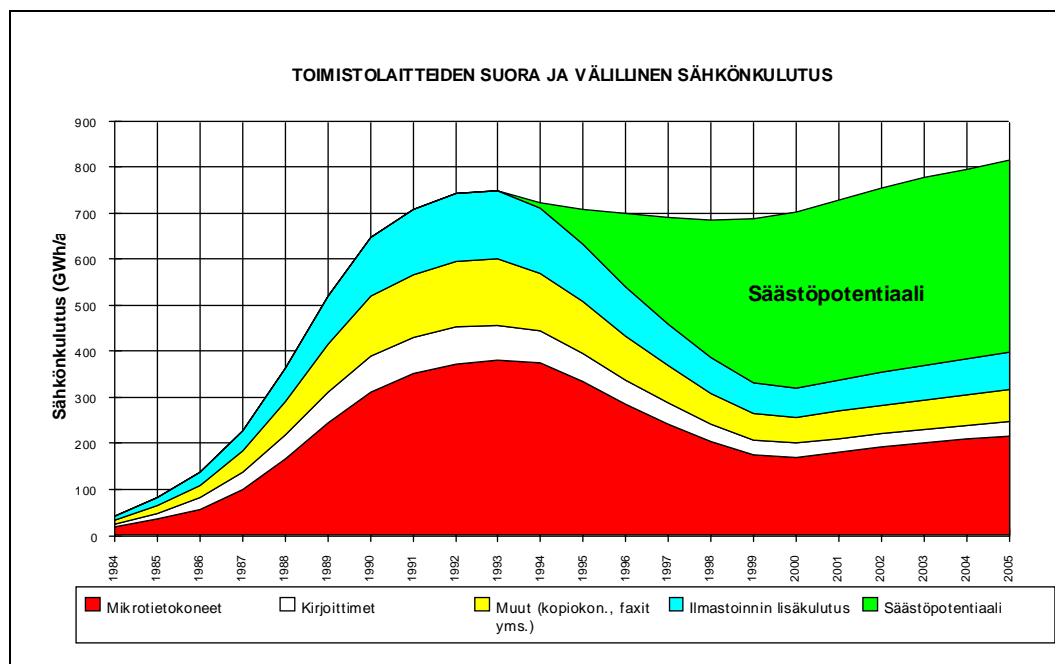
2.6 TOIMISTOLAITTEET

Toimistolaitteiden, kuten ATK-laitteiden ja niiden oheislaitteiden sekä kopiokoneiden ja telekopio-laitteiden, osuus kiinteistöjen sähkönkulutuksesta on noin 10 %. Toimistorakennuksissa, joissa laitemäärä on erittäin suuri, saattaa toimistolaitteiden osuus kulutuksesta nousta jopa 20 %:iin. Toimistolaitteiden määrä on jatkuvasti lisääntymässä, mutta ottamalla käyttöön energiaa säästävää teknologiaa voidaan sähkönkulutusta laskea merkittävästi.

Toimistolaitteita käytetään aktiivisesti vain pieni osa siitä ajasta, jolloin niissä on virta kytkettynä. Arvioiden mukaan esim. mikrotietokonetta käytetään aktiivisesti vain noin 3 tuntia päivässä. Lisäksi noin 40 %:iin laitteista jätetään virrat päälle myös yöajaksi ja viikonlopuiksi. Erilaisilla energiansäästöratkaisuilla pyritäänkin pienentämään tätä laitteiden turhaa sähkönkulutusta silloin, kun laitteita ei käytetä.

Toimistolaitteiden sähkönkulutus on tällä hetkellä noin 570 GWh vuodessa (Kuva 29) /31/, josta lähes 65 % kuluttavat mikrotietokoneet (keskusyksikkö + näyttö). Kirjoittimien osuus sähkönkulutuksesta on 13 % ja loput yli 20 % muodostuu kopiokoneiden, telekopio-laitteiden, laskinten, modeemien ja muiden toimistolaitteiden kulutuksesta. Laitteiden suoran sähkönkulutuksen lisäksi sisäinen lämpökuorma lisää välillisesti ilmastoinnin sähkönkulutusta (keskimäärin 25 %).

Energiaa säästävän teknologian käyttöönotolla arvioidaan sähkönkulutusta voitavan pienentää kaikkiaan noin 3,5 TWh vuosina 1995 - 2005. Keskimäärin säästöpotentiaali on noin 320 GWh/a, mikä merkitsee nykyisellä sähkön keskihinnalla (38,0 p/kWh) noin 122 Mmk/a.



Kuva 29. Toimistolaitteiden sähkönkulutus Suomessa ja sen jakautuminen eri laiteryhmiin kesken. Säästöpotentiaali esittää Energy Star -laitteiden ja näyttösammuttimien käyttöönoton säästövaikutuksia.

2.6.1 Näytöt

ATK-näyttöjen sähkönkulutukseen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kolmeen ryhmään (Taulukko 14).

Taulukko 14. Näyttöjen sähkönkulutukseen vaikuttavat tekijät.

TUOTETTU PALVELU	YMPÄRISTÖ - Suunnittelu - Käyttö	LAITEOMINAISUUDET
Näytön koko (" , tuuma)	Suunnittelu - väri/mv-näyttö - tarvittava tarkkuus Käyttö - käyttöaste työaikana - laitteiden sammutus	Energiansäästöominaisuudet - Energy Star - NUTEK - erillinen näytönsammutin

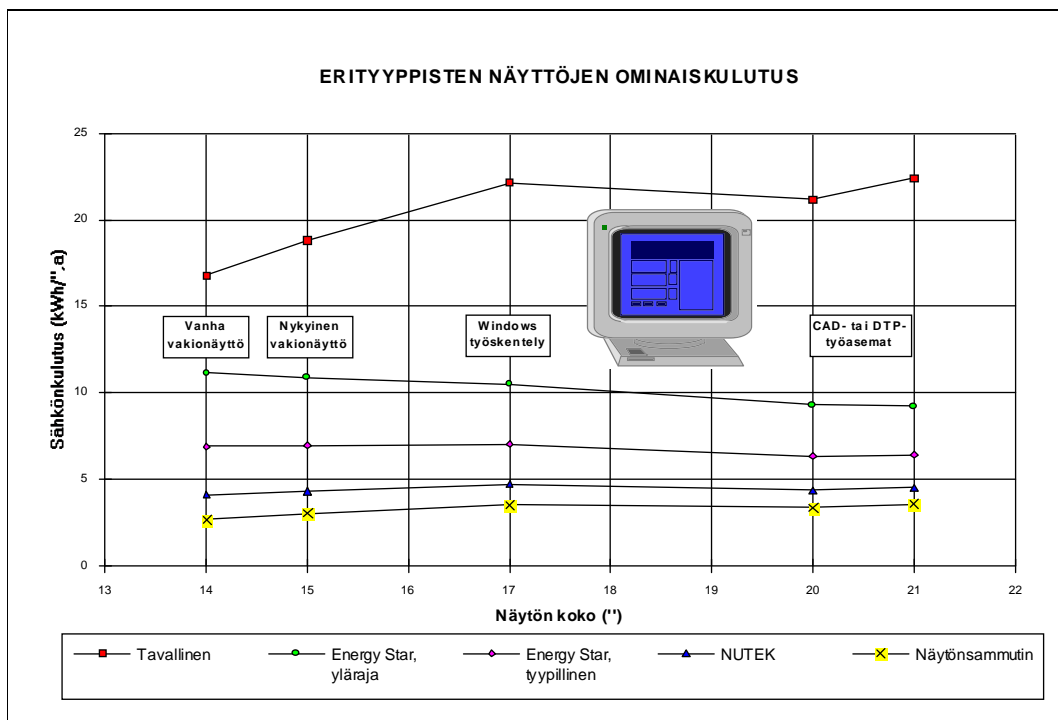
Näyttöjen ominaissähkönkulutus

Näyttöjen tehontarve vaihtelee merkittävästi näytön tyyppin (väri vai mv, tarkkuus) ja koon mukaan. Näytön valinnassa koko on ratkaiseva tekijä. CAD-työskentelyyn tai julkaisujen tekoon (DTP) tarvitaan iso näyttö (20 - 21"), kun taas tekstinkäsittelyyn riittää tavallisesti normaalikokoinen näyttö (14 - 15"). Graafiset käyttöliittymät (Windows) ja sovellukset ovat lisänneet tarvetta näytön koon kasvattamiseen vähintään 17 tuumaan.

Näytön koko ilmaisee kuvaputken lävistäjän (alakulmasta vastakkaiseen yläkulmaan) pituuden tuumina. Varsinainen hyödynnettävä näyttökoko on kuitenkin tätä pienempi, koska kotelon reuna peittää osan kuvaputkesta.

Kuvassa 30 on esitetty erikokoisten ja erilaisilla energiansäästöominaisuuksilla varustettujen näyttöjen ominaissähkönkulutus tuotettua palvelua eli näytön kokoa kohden laskettuna. Ominaiskulutukset on laskettu tyyppillisessä toimistokäytössä, jolloin aktiivinen käyttöaika on 3 h/päivässä ja 40 % laitteista jätetään päälle myös yöajaksi ja viikonlopuiksi.

Tuloksista nähdään, että ominaiskulutus on erikokoisilla näytöillä varsin tasainen. Tämä on yllättävää sikäli, että ominaiskulutus laskettiin kuvaputken halkaisijaa eikä paremmin tehontarvetta kuvaavaa näytön pinta-alaa kohden. Vakionäyttöjen (14" ja 15") ominaiskulutus on 17 - 19 kWh/",a ja tätä isompien näyttöjen noin 22 kWh/",a.



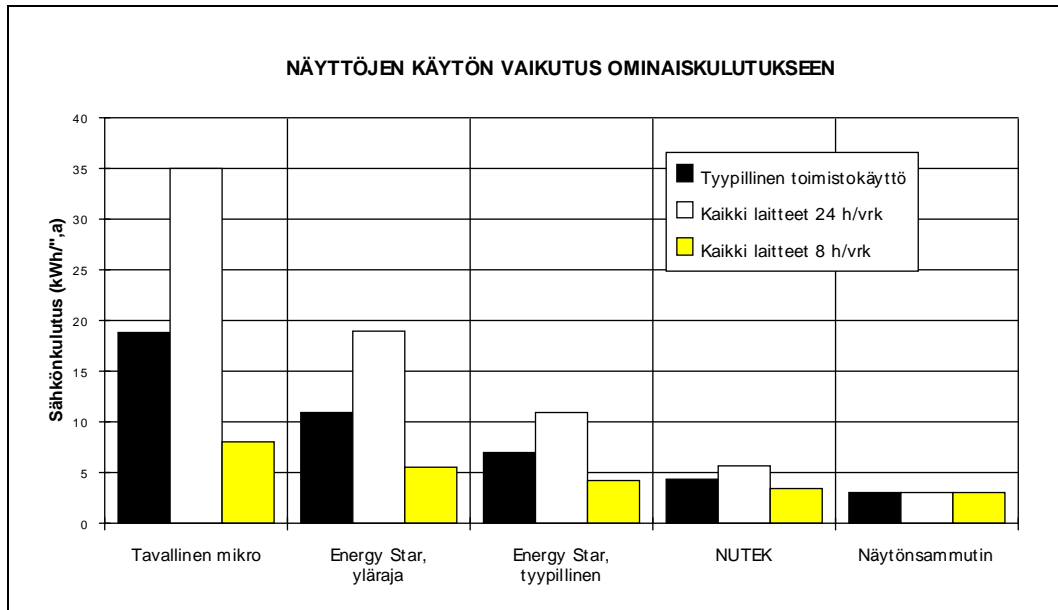
Kuva 30. Erityyppisten ja -kokoisten näyttöjen ominaissähkönkulutus. Tyypillinen toimistokäyttö.

Käyttötavan vaikutus

Näyttöjen sähkönkulutukseen vaikuttaa suuresti se, miten suurelta osin laitteet sammutetaan töistä lähdettäessä (Kuva 31). Erityisesti tämä korostuu tavallisissa näytöissä, joissa ei ole energiansäästöominaisuuksia. Tällöin tyypilliseen toimistokäyttöön (40 % laitteista jätetään päälle myös yöajaksi ja viikonlopuiksi) verrattuna ominaiskulutus muuttuu seuraavasti:

- Tyypillinen toimistokäyttö vertailutapaus
- Kaikki laitteet päällä 24 h/vrk +87 %
- Kaikki laitteet päällä 8 h/vrk -56 %.

Mitä alhaisempi on energiansäästöominaisuuksilla varustetun näytön lepotilan tehontarve, sitä vähemmän noudatettu virransammutuskäytäntö vaikuttaa sähkönkulutukseen.



Kuva 31. Vakionäytön (15") käyttötavan vaikutus sähkönkulutukseen. Aktiivinen käyttö 3 h/vrk.

Näyttöjen säästämahdollisuudet

Näyttöjen ja muiden ATK-laitteiden turhaa energiankulutusta vähentämään on kehitetty energiansäästötoiminnolla varustettuja laitteita, jotka siirtyvät automaattisesti ns. lepotilaan sen jälkeen, kun niiden aktiivinen käyttö lopetetaan.

Näyttöjä varten on kehitetty vapaaehtoisuuteen perustuvia luokitusnormistoja, kuten esim. Yhdysvaltojen ympäristöministeriön EPA:n Energy Star- ja ruotsalaisen NUTEK:n määrittelyt. Lepotilan tehontarve on tällöin korkeintaan

- Energy Star 30 W
- NUTEK 8 W.

Tämän lisäksi vanhat näytöt voidaan varustaa erillisellä ns. näytönsammuttimella, joka katkaisee näytöstä virran sen jälkeen, kun näppäimistön tai hiiren käyttö lopetetaan.

Kaikki energiansäästötoiminnot alentavat merkittävästi näyttöjen energiankulutusta (Kuva 30). Tavallisiin näyttöihin verrattuna pienenee 15" vakionäytön ominaissähkönkulutus tyypillisessä toimistokäytössä seuraavasti:

- Energy Star, yläraja (30 W) -42 %
- Energy Star, tyypillinen (15 W) -63 %
- NUTEK -77 %
- Näytönsammutin -84 %.

2.6.2 Mikrotietokoneet

Mikrotietokoneen (näyttö ja keskusyksikkö) sähkönkulutukseen vaikuttavat näytön osalta edellisessä luvussa käsitellyt tekijät. Lisäksi keskusyksikön osalta voidaan esittää lisää tekijöitä (Taulukko 15).

Taulukko 15. Mikrotietokoneiden keskusyksikön sähkönkulutukseen vaikuttavat tekijät. Näytön osalta tekijät on esitetty taulukossa 14.

TUOTETTU PALVELU	YMPÄRISTÖ - Suunnittelu - Käyttö	LAITEOMINAISUUDET
Laskentateho (Mflops) Tallennuskapasiteetti (Mb)	Suunnittelu - laitteen käyttötarkoitus - liikuteltavuus Käyttö - käyttöaste työaikana - laitteiden sammutus	Energiansäästöominaisuudet - Energy Star

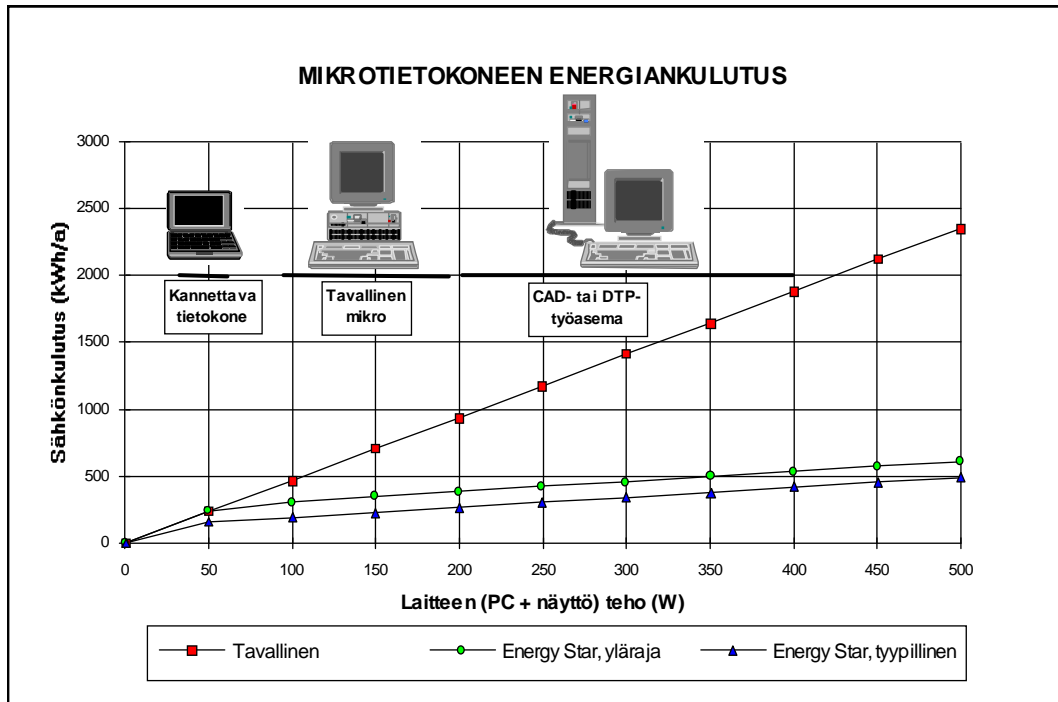
Mikrotietokoneelle kokonaisuutena tai edes pelkälle keskusyksikölle ei ole löydettävissä riittävän yksiselitteistä palvelua, jota kohden ominaiskulutukset voitaisiin määritellä. Sen takia tässä esityksessä on energiankulutustiedot esitetty erilaisille laitekoonpanoille.

Mikrotietokoneiden sähkönkulutus

Mikrotietokoneen käyttötarkoitus määrittelee pitkälti ne ominaisuudet, jotka vaikuttavat laitekokonaisuuden tehontarpeeseen. Esimerkiksi raskaaseen CAD- tai DTP-työskentelyyn tarvitaan tavallista mikrotietokonetta huomattavasti tehokkaampi keskusyksikkö ja kookkaampi näyttö.

Toisaalta laskentateholtaan samanarvoisista laitekoonpanoista vaatii kannettava tietokone aina yleensä vähemmän tehoa. Tämä johtuu siitä, että kannettavien tietokoneiden akkukäyttöisyyden vuoksi on jouduttu kiinnittämään huomiota niiden energiatehokkuuteen. Tosin näytön osalta laitteet eivät yleensä ole vertailukelpoiset.

Kuvassa 32 on esitetty erilaisten mikrotietokoneiden sähkönkulutus tavallisilla sekä energiansäästöominaisuuksilla varustetuilla laitteilla.



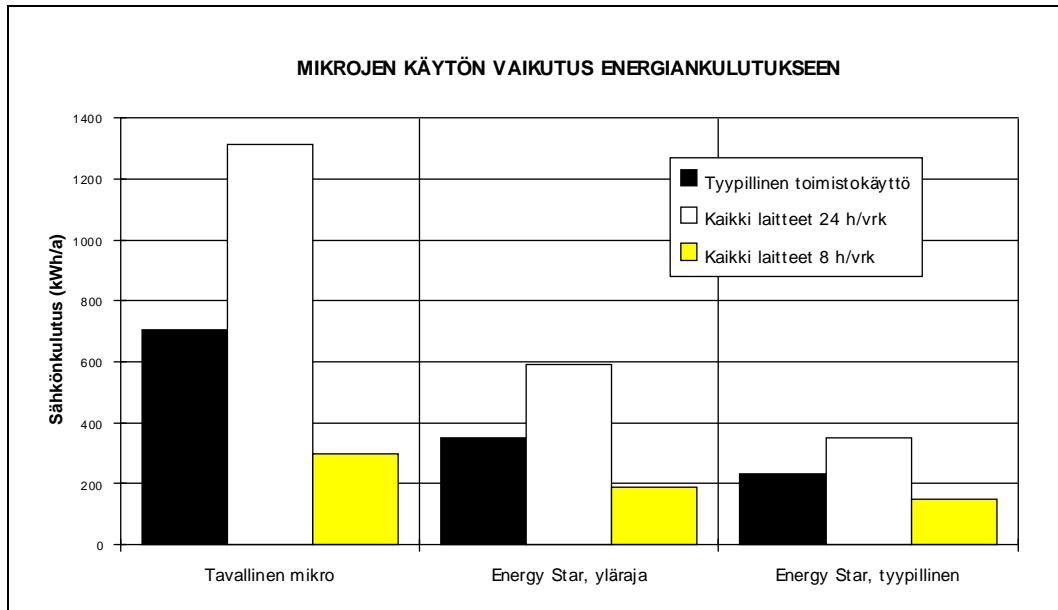
Kuva 32. Erilaisten mikrotietokoneiden (PC + näyttö) sähkönkulutus. Tyypillinen toimistokäyttö.

Käyttötavan vaikutus

Mikrotietokoneiden sähkönkulutukseen vaikuttaa suuresti se, miten suurelta osin laitteet sammutetaan töistä lähdettäessä (Kuva 33). Erityisesti tämä korostuu tavallisissa, ilman energiansäästöautomaatiikkaa olevissa laitteissa. Tällöin tyypilliseen toimistokäyttöön (40 % laitteista jätetään päälle myös yöajaksi ja viikonlopuiksi) verrattuna ominaiskulutus muuttuu seuraavasti:

- Tyypillinen toimistokäyttö vertailutapaus
- Kaikki laitteet päällä 24 h/vrk +86 %
- Kaikki laitteet päällä 8 h/vrk -57 %.

Mitä alhaisempi on energiansäästöominaisuuksilla varustetun näytön lepotilan tehontarve, sitä vähemmän noudatettu virransammutuskäytäntö vaikuttaa sähkönkulutukseen.



Kuva 33. Tavallisen mikrotietokoneen (PC + näyttö) käyttötavan vaikutus sähkönkulutukseen. Aktiivinen käyttö 3 h/vrk.

Mikrotietokoneiden säästömahdollisuudet

Mikrotietokoneiden turhaa energiankulutusta voidaan pienentää valitsemalla sellainen laite, jossa sekä näyttö että keskusyksikkö on varustettu Energy Star-energiansäästötoiminnolla. Lepotilan tehontarve saa tällöin olla korkeintaan 30 W näytön ja 30 W keskusyksikön osalta. Tyypillinen Energy Star -laitteiston (näyttö + keskusyksikkö) lepotilan tehontarve on yhteensä noin 30 - 40 W.

Energy Star -laitteilla pienenee tavallisen laitekoonpanon sähkönkulutus tyypillisessä toimistokäytössä seuraavasti (Kuva 33):

- Energy Star, yläraja (60 W) -50 %
- Energy Star, tyypillinen (30 W) -67 %.

Siirtyminen yhä enemmän verkkoympäristöön lisää painetta jättää yhä useampia mikrotietokoneita päälle myös yöajaksi, jolloin hoidetaan työasemien varmuuskopiointi. Tällöin tietokoneen energiansäästöominaisuuksien merkitys korostuu entistään, koska laitteet ovat yhä suuremman osan ajastaan käyttämättöminä. Myös käyttömukavuus paranee, kun verkkoistuntoa ei tarvitse keskeyttää käytön keskeyttämisen ajaksi. Verkkoon kytkeytymisen ja ohjelmistojen käynnistämisen osalta saavutetaan ajansäästöä verrattuna työaseman virtojen katkaisemiseen.

2.6.3 Kirjoittimet

Kirjoittimien sähkönkulutukseen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kolmeen ryhmään (Taulukko 16).

Taulukko 16. Kirjoittimien sähkönkulutukseen vaikuttavat tekijät.

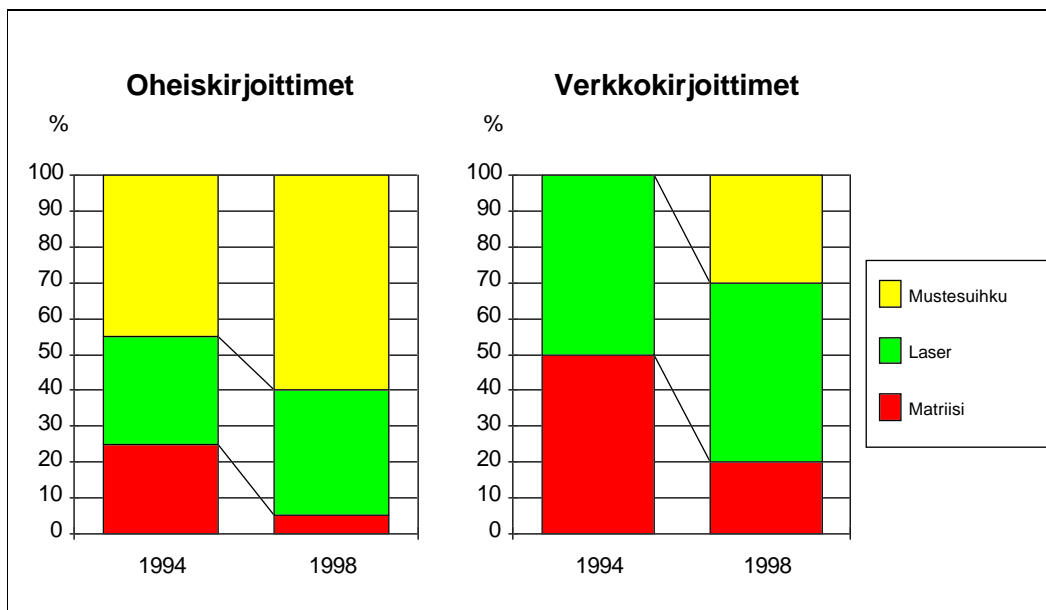
TUOTETTU PALVELU	YMPÄRISTÖ - Suunnittelu - Käyttö	LAITEOMINAISUUDET
Tulostettu sivu	Suunnittelu - tulostuksen nopeus - tulostuksen tarkkuus - väritulostusominaisuus Käyttö - tulostusmäärä - laitteiden sammutus	Energiansäästöominaisuudet - Energy Star - Erillinen virransammutin

Kirjoittimet voidaan jakaa tulostustekniikan osalta kolmeen eri ryhmään:

- matriisikirjoittimet
- laserkirjoittimet
- mustesuihkukirjoittimet.

Näiden kirjoitintyyppien suhteellinen osuus vaikuttaa merkittävästi energiankulutukseen. Suhteelliset osuudet ovat tällä hetkellä muuttumassa selvästi. Mustesuihkukirjoitinten määrä on voimakkaassa kasvussa pääasiassa matriisikirjoitinten kustannuksella. Kuvassa 34 on esitetty eri kirjoitintyyppien suhteelliset osuudet tällä hetkellä (1994) sekä ennustettu tilanne vuonna 1998.

Osa kirjoittimista, ns. oheiskirjoittimet on kytketty vain yhteen työasemaan. Verkko kirjoitin palvelee verkon välityksellä useampaa, tyypillisesti 3 - 4 eri työasemaa, jolloin niiden käyttöaste on myös huomattavasti oheiskirjoittimia korkeampi.



Kuva 34. Eri kirjoitintyyppien suhteelliset osuudet tällä hetkellä sekä ennuste tilanteesta vuonna 1998. Oheiskirjoittimet on liitetty yksittäiseen työasemaan ja verkkokirjoittimet palvelevat useita työasemia.

Kirjoittimien ominaissähkökulutus

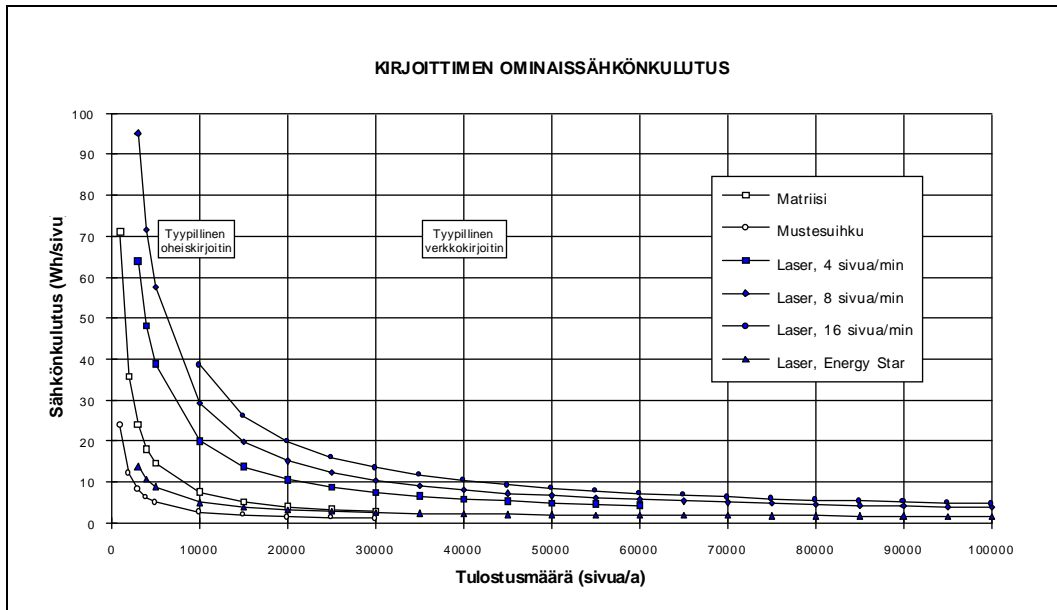
Kuvassa 35 on esitetty erityyppisten kirjoittimien ominaissähkökulutus tuotettua palvelua eli tulostettua sivua kohden. Kirjoittimen virta on tällöin ollut kytkettynä toimistoajan (2000 h/a) sekä 40 % ajasta myös öisin ja viikonloppuisin, mikä vastaa melko hyvin tyypillistä toimistokäyttöä.

Kirjoittimien säästämähdollisuudet

Kirjoittimien osalta aktiivisen tulostustyön osuus on erittäin pieni, paljon käytetyillä verkkotulostimillakin yleensä vain 5 % toimistotyöajasta eli noin 0,5 tuntia päivässä. Siksi kirjoittimien ominaiskulutus onkin voimakkaasti riippuvainen vuotuisista tulostusmääristä, erityisesti vanhemmantyyppisillä laserkirjoittimilla.

Turhaa energiankulutusta voidaan alentaa laskemalla ns. lepotilan tehontarvetta mahdollisimman pieneen. Energy Star -määrittelyjen mukaan lepotilan tehontarve saa olla 1 - 14 sivua/min tulostavilla kirjoittimilla korkeintaan 30 W ja tätä nopeammilla kirjoittimilla enintään 45 W. Tämän hetkiselä teknologialla nämä raja-arvot on helppo alittaa. Kahden suurimman laitevalmistajan uusissa malleissa on jopa luovuttu virtakytkimestä, jolloin laitteet ovat aina valmiustilassa (tehontarve vain 5 W). Tätä tasoa voidaankin pitää tyypillisenä Energy Star -laitteena.

Oheiskirjoittimen tyypillisellä tulostusmäärällä (10 000 sivua vuodessa) ominaissähkökulutus on tavallisella laserkirjoittimella (8 sivua/min) 29,3 Wh/sivu ja tyypillisellä Energy Star -laitteella 5,1 Wh/sivu (-83 %).



Kuva 35. Erityyppisten kirjoittimien ominaissähkönkulutus tulostettua sivua kohden. Tyypillinen toimistokäyttö.

2.6.4 Muut toimistolaitteet

ATK-laitteiden ja niiden oheislaitteiden lisäksi toimistossa on muita pienempiä laiteryhmiä, kuten kopiokoneet, telekopio-laitteet, laskimet ja modeemit. Niiden osuus toimistolaitteiden kokonaissähkökulutuksesta on noin 20 %. Muista toimistolaitteista selvästi merkittävin ryhmä sähkökulutuksen kannalta ovat kopiokoneet, joiden käsittelyyn tässä raportissa rajoitutaan.

Pienet ja keskikokoiset kopiokoneet ovat kehittymässä nopeasti energiansäästö-ominaisuuksiltaan. Pienimmissä kopiokoneissa voidaan hyödyntää samaa teknologiaa, joka on jo kehitetty laserkirjoittimiin.

Kopiokoneen aktiivinen käyttöaika on hyvin lyhyt. Arvioiden mukaan vain 2 - 5 % päälläoloajastaan kopiokone tekee kopioita, muuna aikana se on valmiustilassa. Siten kopiokoneen energiankulutus riippuu suuresti valmiustilan tehontarpeesta. Taulukossa 17 on arvio valmiustilan tehonkulutuksesta tällä hetkellä käytössä olevissa kopiokoneissa sekä ennustus uusien kopiokoneiden energiatehokkuuden kehityksestä lähitulevaisuudessa /32/.

Taulukko 17. Erikokoisten kopiokoneiden tehontarve valmiustilassa tällä hetkellä (keskiarvo käytössä olevista laitteista) sekä lähitulevaisuudessa.

KOPIOKONEEN KAPASITEETTI sivua/min	TILANNE TÄLLÄ HETKELLÄ W	UUDET LAITTEET V. 1993 W	UUDET LAITTEET V. 1998 W	UUDET LAITTEET V. 2000 W
1 - 19	120	90	5	5
20 - 39	200	140	90	70
> 40	400	250	200	180

2.7 KEITTIÖLAITTEET

Keittiöiden sähkönkulutukseen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kolmeen ryhmään (Taulukko 18).

Taulukko 18. Keittiöiden sähkönkulutukseen vaikuttavat tekijät.

TUOTETTU PALVELU	YMPÄRISTÖ - Suunnittelu - Käyttö	LAITEOMINAISUUDET
Annos (annosta/vrk)	Suunnittelu - valmistus tai jakelukeittiö - keittiötyyppi - LV- vai KV-liitäntä Käyttö - käyttöajat - samanaikaisuus - valmistettava tuote	Keittölaitteen hyötysuhde - lämpöhäviöt ympäristöön - valmistusprosessin tehokkuus

Keittiöiden energiankulutuksen tavoitearvot määritettiin eri tyyppisille suurkeittiöille. Tarvittavat mittaukset ja energiankulutuksen laskenta suoritettiin Hackman Metos Oy:n toimesta. Laskelmissa käytetyt oletusarvot on esitetty tarkemmin liitteessä 1. Kylmälaitteiden osalta mittaustulokset ovat Porkka Oy:n laitteista. Tulosten arvioinnissa on huomattava seuraavaa:

- Käyttöaika-arviot on tehty hyödyntäen Hackman Metos Oy:n suunnittelu- palvelun tietoa erityyppisten keittiöiden käyttöasteesta ja huomioiden ainoastaan laitteen tehollinen käyttö.
- Tapauskohtaisesti laitteiden käyttöajat saattavat vaihdella huomattavastikin.
- Tietyissä laitteissa, kuten esim. yhdistelmäuunissa, myös valmistettava tuote ja valittu valmistustapa voi vaikuttaa merkittävästi energiankulutukseen.
- Astianpesukoneissa liittäminen lämpimään tai kylmään käyttöveteen vaikuttaa laitteen sähkönkulutukseen.

Tarkasteltaviksi valittiin seuraavat suurkeittiötyypit, joista kaikki ovat valmistuskeittiöitä:

- Ravintola, hotelli
- Henkilöstöravintola
- Kahvila tai tienvarsiravintola
- Laitoskeittiöt:
 - Ammattioppilaitos
 - Ylä- tai ala-aste
 - Vanhainkoti

Kuvassa 36 on esitetty sähkönkulutuksen jakaantuminen eri toimintojen kesken eräässä valmistuskeittiössä. Tehtyjen mittausten mukaan sähkönkulutukseltaan merkittävin toiminto oli astianpesu, jonka osuus sähköntarpeesta oli yli 40 %. Kylmälaitteet ja ruoanvalmistus kuluttivat molemmat noin neljänneksen.



Kuva 36. Sähkönkulutuksen jakaantuminen eri toimintojen kesken mittausten mukaan eräässä valmistuskeittiössä /25/.

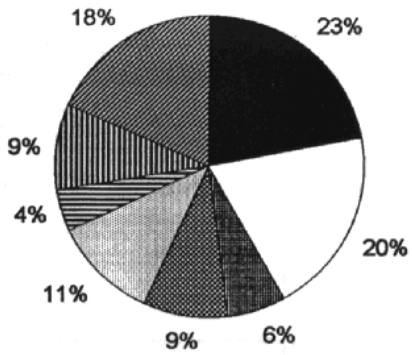
Eri keittiötyyppien sähkönkulutuksen tavanomainen jakaantuminen yksittäisten laitteiden kesken on esitetty kuvassa 37.

Astianpesukoneet kuluttavat keittiölaitteista eniten sähköä ravintoloissa ja hotelleissa (23 %), ammattioppilaitoksissa (32 %), ylä/ala-asteilla (31 %) sekä erityisesti vanhainkodeissa (46 %). Henkilöstöravintoloissa ja kahvila/tienvarsiravintoloissa kylmälaitteiden (kylmävarastointi sekä kylmän ruoan säilytys tarjoilulämpötilassa) osuus sähkönkulutuksesta on suurin. Kahvila- ja tienvarsiravintoloissa sähköä kuluu merkittävästi myös rasvakeittiimiin (18 %) ja ammattioppilaitoksissa yhdistelmäuuneihin (22 %).

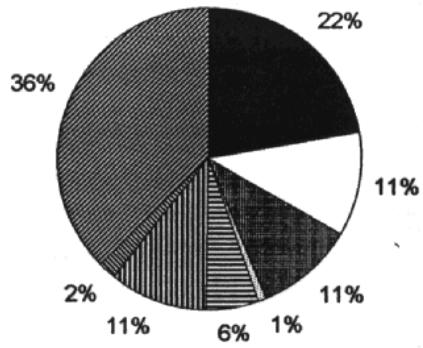
Kuvassa 38 on erilaisten keittiötyyppien sähkönkulutus jaettu toiminnoittain astianpesun, ruoanvalmistuksen, kylmävarastoinnin ja ruoan tarjoilulämpötilassa säilytyksen kesken. Jakoperusteet ovat tällöin vertailukelpoiset kuvassa 36 esitettyihin mittaustuloksiin nähden.

Keittiön toiminnoista ruoanvalmistukseen kuluu yli puolet (51 - 60 %) sähköntarpeesta ravintoloissa ja hotelleissa, kahvila tai tienvarsiravintoloissa sekä ammattioppilaitoksissa. Henkilöstöravintoloissa, ammattioppilaitoksissa sekä ylä- tai ala-asteilla ruoanvalmistukseen kuluu (37 - 42 %). Vanhainkotien keittiöissä astianpesu kuluttaa eniten sähköä (47 %). Kylmävarastoinnin (jääkaapit, kylmä- ja pakastuhuoneet) osuus sähkönkulutuksesta vaihtelee 16 - 28 %.

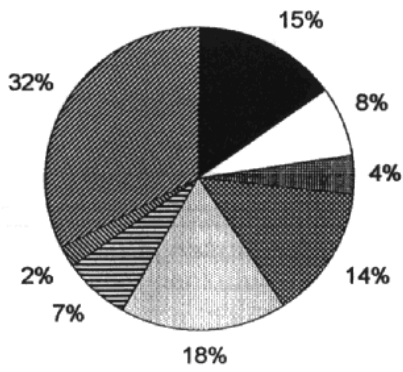
Ravintola tai hotelli



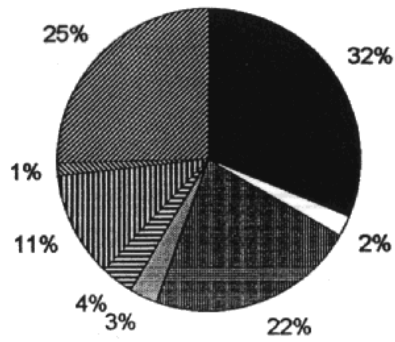
Henkilöstöravintola



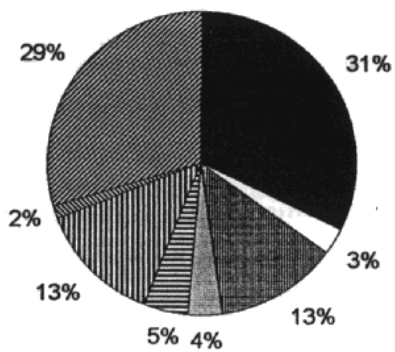
Kahvila/tienvarsiravintola



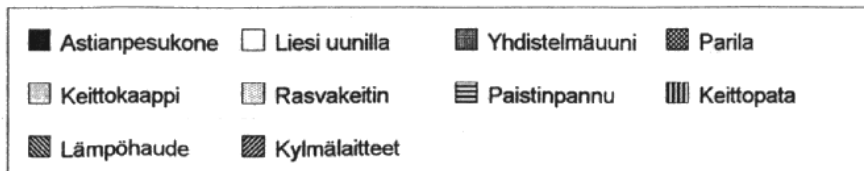
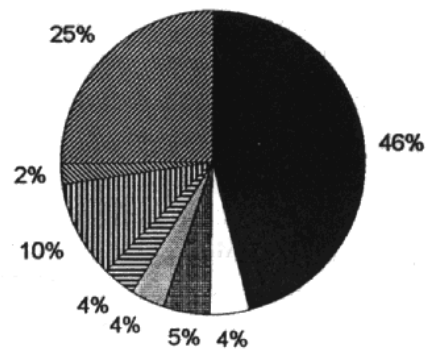
Ammattioppilaitos



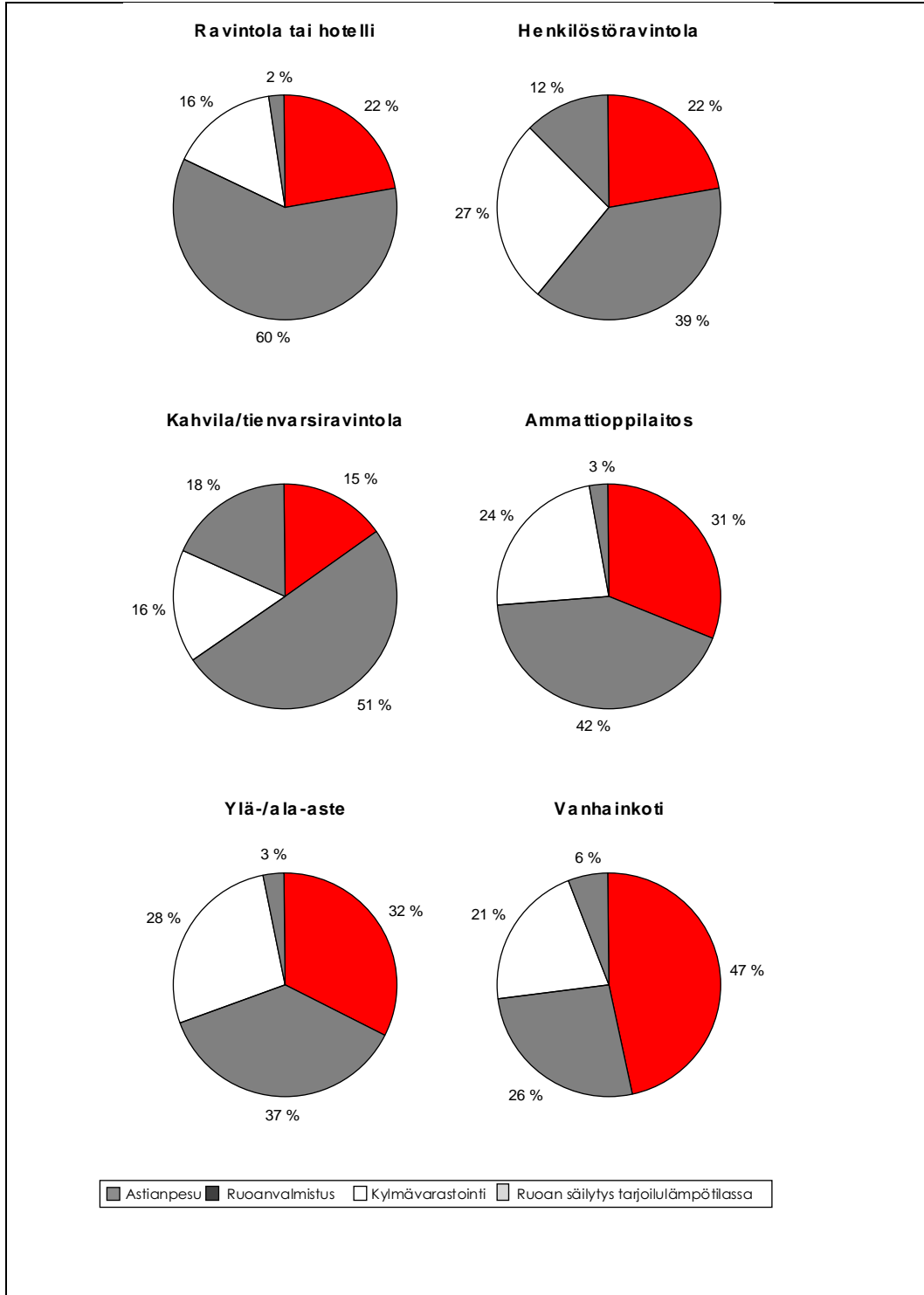
Ylä-/ala-aste



Vanhainkoti



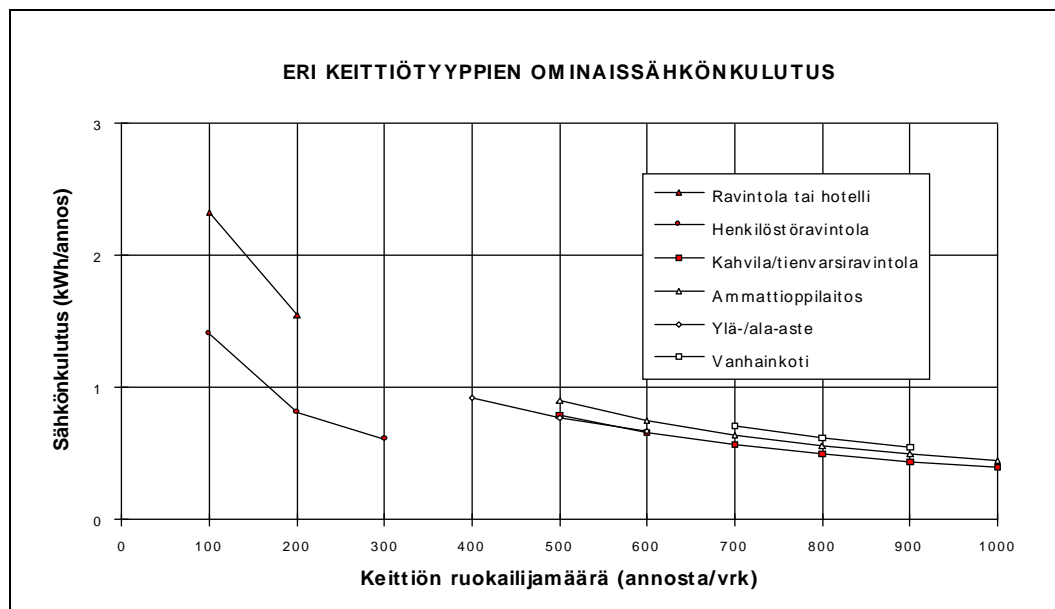
Kuva 37. Keittiön sähkönkulutuksen jakautuminen yksittäisten laitteiden kesken erityyppisissä keittiöissä.



Kuva 38. Keittiön sähkönkulutuksen jakautuminen eri toimintojen kesken erityyppisissä keittiöissä.

2.7.1 Keittiöiden ominaissähkökulutus

Keittiöiden ominaissähkökulutus (Kuva 39) laskettiin tuotettua palvelua eli tässä tapauksessa annosta kohden.



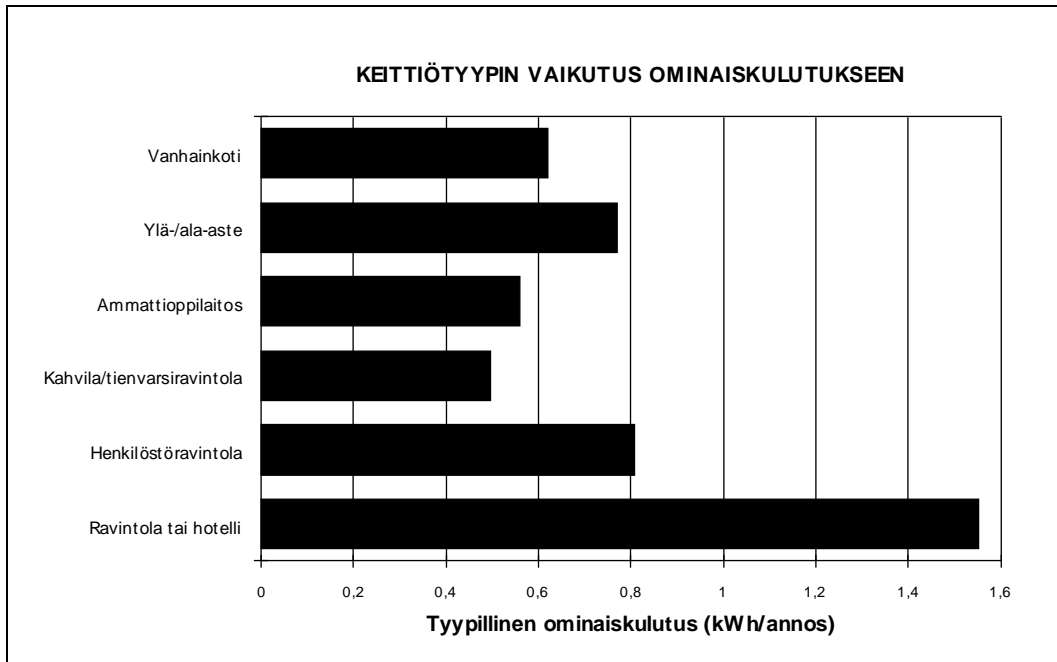
Kuva 39. Keittiön ominaissähkökulutus erityyppisissä valmistuskeittiöissä.

2.7.2 Keittiötyypin vaikutus

Ominaissähkökulutus vaihtelee jonkin verran keittiötyypin mukaan (Kuva 40). Pienin ominaiskulutus on kahvila tai tienvarsiravintoloissa, ammattioppilaitoksissa ja vanhainkodeissa, joissa sähkökulutus on tyypillisesti 0,5 - 0,6 kWh/annos. Henkilöstöravintoloissa ja ylä- tai ala-asteilla kulutus on noin 0,8 kWh/annos. Ravintoloiden ja hotellien ominaiskulutus on muihin verrattuna kaksin- tai kolminkertainen, lähes 1,6 kWh/annos. Tämä johtuu lähinnä siitä, että annokset tehdään yksittäin eikä suurissa erissä kuten muissa keittiötyypeissä. Eri keittiötyyppien suhteellinen ominaissähkökulutus kahvilaan tai tienvarsiravintolaan verrattuna on tyypillisillä ruokailijamäärillä seuraava:

- Kahvila tai tienvarsiravintola	0,50 kWh/annos	
- Vanhainkoti	0,62 kWh/annos	(+ 24 %)
- Ylä- tai ala-aste	0,77 kWh/annos	(+ 54 %)
- Ammattioppilaitos	0,56 kWh/annos	(+ 12 %)
- Henkilöstöravintola	0,81 kWh/annos	(+ 62 %)
- Ravintola tai hotelli	1,55 kWh/annos	(+210 %)

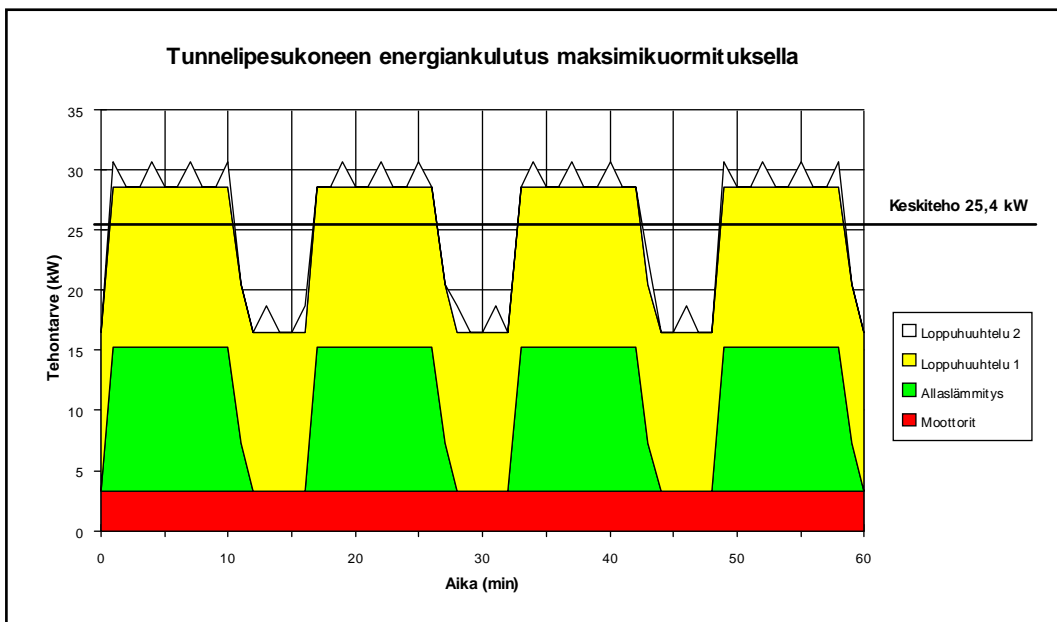
Ominaissähkökulutukseen vaikuttavat ne tarpeet ja vaatimukset, joita erityyppisille keittiöille asetetaan. Siten keittiötyyppejä ei voida asettaa mihinkään paremmuusjärjestykseen kulutusarvon mukaan, vaan vertailu on mahdollista ainoastaan samantyyppisten keittiöiden kesken.



Kuva 40. Keittiötyypin vaikutus ominaissähkökulutukseen, tyypilliset (ks. Liite 1) ruokailijamäärät.

2.7.3 Tunnelipesukoneen sähkönkulutus

Astianpesu oli monessa keittiötyypissä sähkökulutukseltaan merkittävin keittiön toiminnoista. Kuvassa 41 on lähemmin tarkasteltu erään tunnelipesukoneen toimintaa ja energiankulutusta prosessin eri vaiheissa. Mittaus on tehty maksimikuormituksella (kylmävesiliitaintä). Kuvassa 42 on esitetty tunnelipesukoneen energiankulutuksen jakautuminen eri toimintojen kesken.



Kuva 41. Tunnelipesukoneen mitattu sähkönkulutus maksimikuormituksella.



Kuva 42. Tunnelipesukoneen sähkönkulutuksen jakautuminen laitteen eri osien ja prosessin toimintojen kesken.

2.7.4 Säästömahdollisuudet

Seuraavassa on käsitelty mahdollisuuksia pienentää keittiöiden sähkölaitteiden energiankulutusta. Tämän lisäksi merkittävää energiansäästöpotentiaalia on keittiöiden ilmastoinnin energiankulutuksessa, jota on tarkemmin käsitelty luvussa 6.

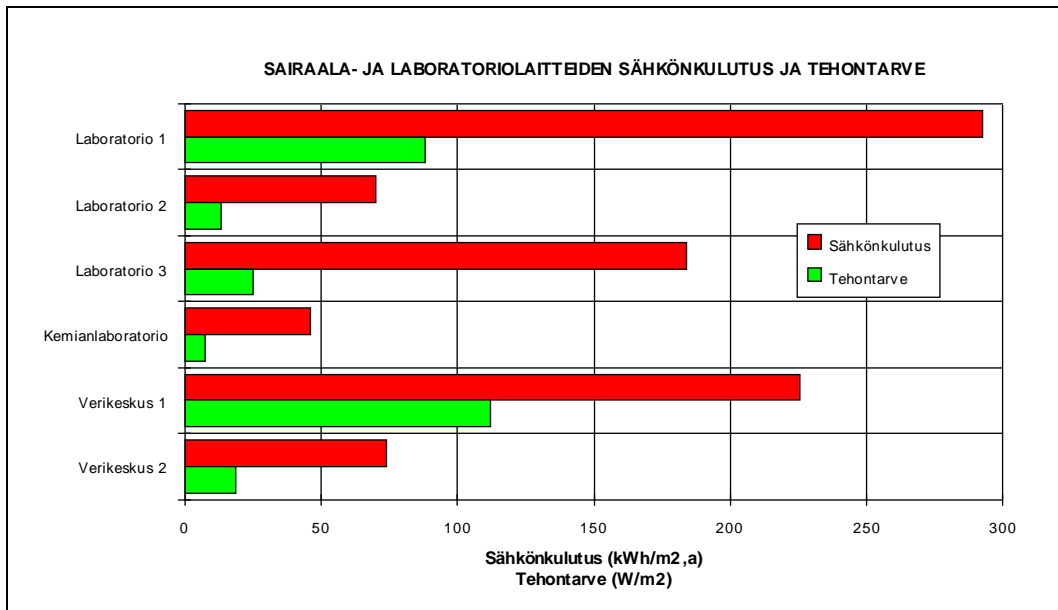
Kylmälaitteiden osalta energiansäästömahdollisuuksia on käsitelty tarkemmin luvussa 2.4.4. Muiden keittiölaitteiden energiansäästömahdollisuuksia on lueteltu seuraavassa:

- astianpesukoneiden lämmöntalteenotto
- liesien lämpiämisenopeuden parantaminen (esim. halogeenilevyt) ja kuumenevan alueen tarpeenmukainen säätö (esim. induktiotekniikka)
- turhan energiankulutuksen vähentäminen laitteilla, jotka siirtyvät automaattisesti vähän kuluttavaan ns. lepotilaan silloin, kun niitä ei käytetä
- lämminvesikytkennän suosiminen kylmävesikytkennän sijasta
- uunien ja patojen eristyksen parantaminen.

2.8 MUUT KIINTEISTÖJEN KONEET JA LAITTEET

2.8.1 Sairaalalaitteet

Sairaalan laboratorio- ja tutkimustilojen laitekuorma on suuri. Helsingin yliopistollisessa keskussairaalassa (HYKS) tehtyjen mittausten mukaan /33/ eri tilojen sähkölaitteiden tehontarve ja sähkönkulutus vaihtelivat suuresti (Kuva 43).



Kuva 43. Sairaala- ja laboratoriolaitteiden sähkönkulutus ja tehontarve HYKS:n kirurgisen sairaalan laboratorio- ja tutkimustiloissa.

Mittausten mukaan laboratorio- ja sairaalalaitteiden tehonkäyttö on lähes kaikissa tapauksissa huomattavasti pienempi kuin liitäntäteho. Laitteiden keskitehot olivat vain harvoissa tapauksissa yli 50 % ja joissain tapauksissa vain 10 % liitäntätehosta.

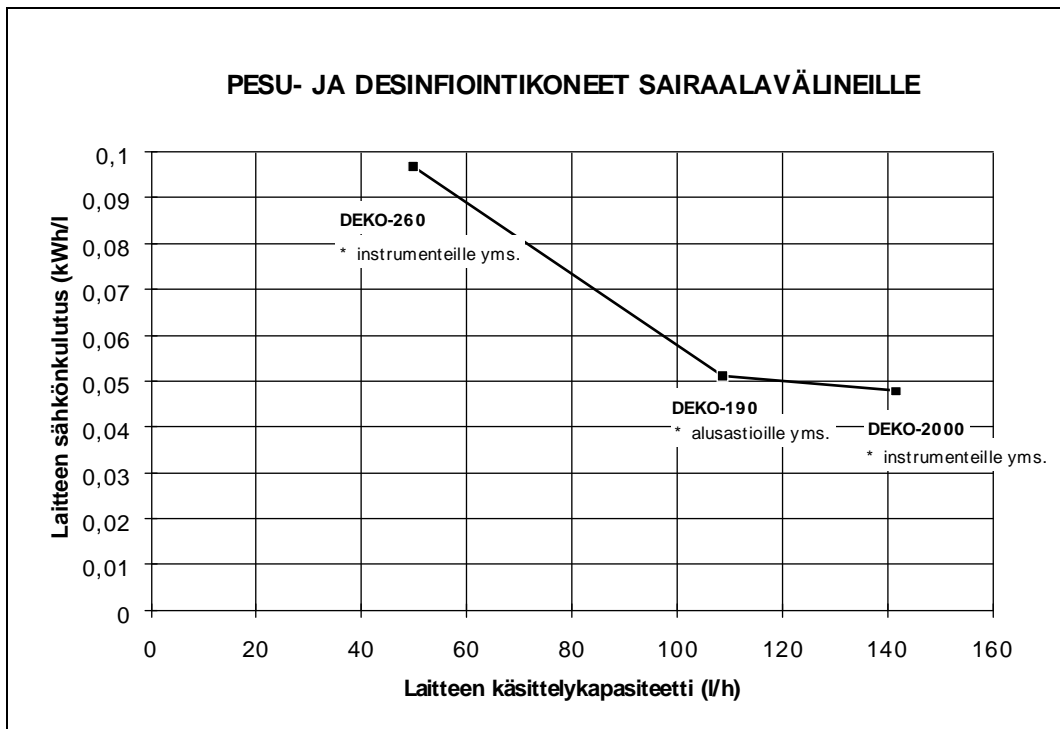
Pesu- ja desinfiointikoneiden ominaissähkönkulutus

Franke Hackman Oy:n toimesta selvitettiin joidenkin sairaalavälineiden pesu- ja desinfiointikoneiden sähkönkulutusta prosessin eri vaiheissa.

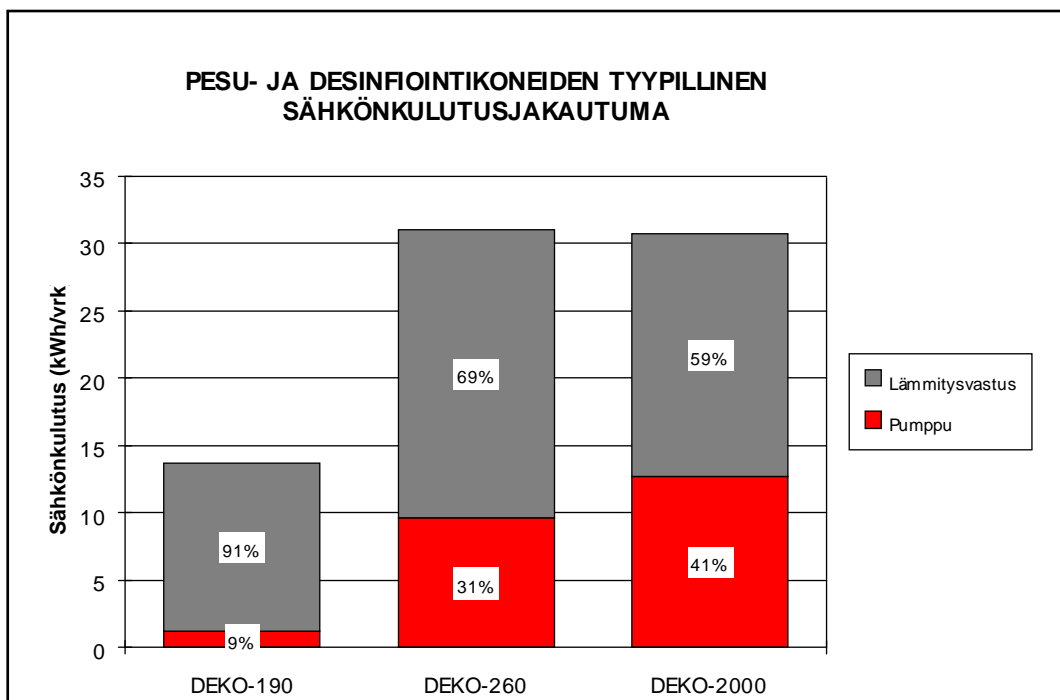
Sairaalavälineet sijoitetaan koreihin ennen pesukoneeseen sijoittamista. Koreja on erikokoisia ja niiden koko vaihtelee eri valmistajilla, joten ominaiskulutus päätettiin laskea koritilavuutta (l) kohden.

Ominaiskulutus on DEKO-190 ja DEKO-2000 laitteilla noin 0,05 kWh/l. Nämä molemmat laitteet ovat käsittelykapasiteetiltaan lähellä toisiaan. Sen sijaan käsittelykapasiteetiltaan pienemmän DEKO-260 laitteen ominaiskulutus on lähes kaksinkertainen (Kuva 44). Kuvassa 45 on esitetty näiden pesu- ja desinfi-

ointikoneiden sähkönkulutuksen jakautuminen lämmitysvastuksen (59 - 91 %) ja pumppujen kesken (9 - 41 %).



Kuva 44. Sairaalavälineiden (instrumentit, alusastiat yms.) pesu- ja desinfiointikoneiden ominaissähkönkulutus.

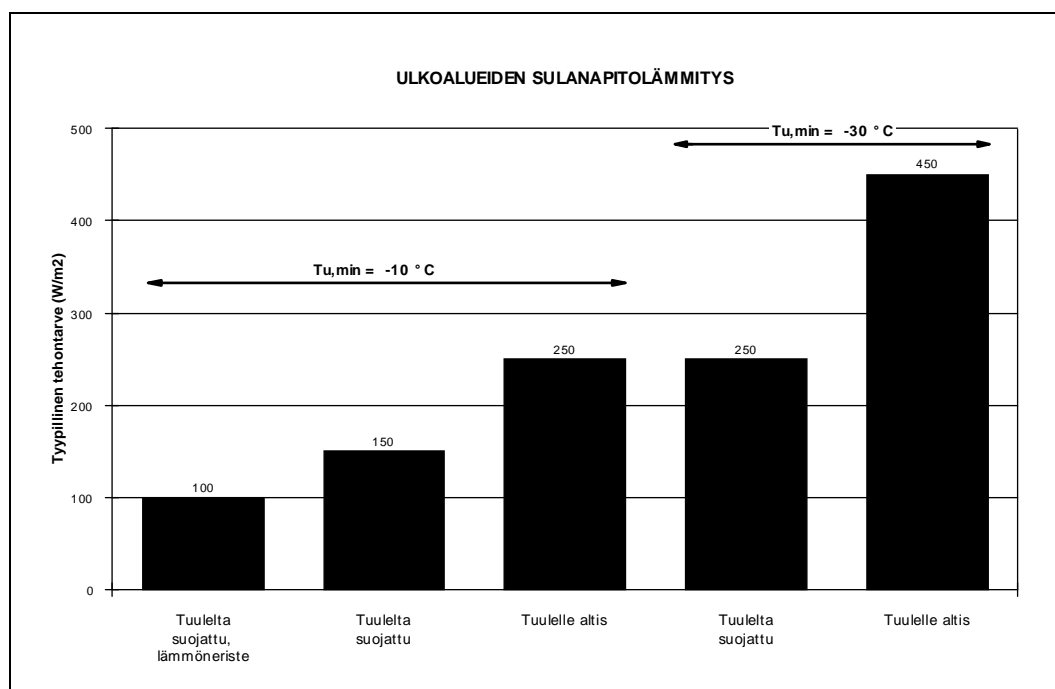


Kuva 45. Sairaalavälineiden pesu- ja desinfiointikoneiden sähkönkulutuksen jakautuminen eri laitekomponenttien kesken.

2.8.2 Sulanapitolämmitykset

Sulanapitolämmityksiin voidaan lukea erilaiset ulkoalueiden (ajoluiskat yms.) sulatukset ja sulanapitolämmitykset sekä matalien perustuksien routasuojaukset.

Ulkoalueen sulatukseen tarvittava lämmitysteho on merkittävästi riippuvainen vaatimuksista, jotka asetetaan sulatusnopeuden ja toimintalämpötilojen suhteen (Kuva 46).



Kuva 46. Ulkoalueiden sulanapitolämmityksen tyypillinen tehontarve eri mitoitus-tavoilla.

Sulanapitolämmityksen ohjaus voidaan toteuttaa monilla tavoilla:

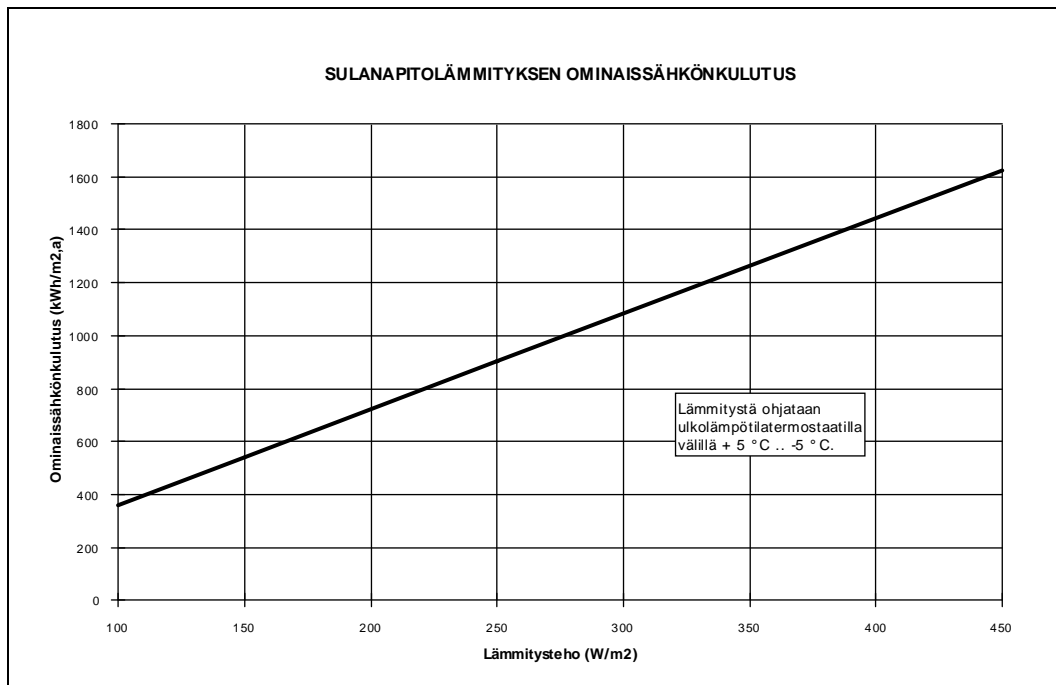
- käsikytkimellä, joka on varustettu aikareleellä
- lumianturilla
- ulkolämpötilaohjauksella erillisestä termostaatista tai DDC-järjestelmästä
- säätämällä laatan lämpötila vakioksi.

Säädön toiminnalla on hyvin suuri vaikutus lämmityksen sähkönkulutukseen. Koska ulkoalueille asennettavat tehot ovat suuria, voivat viat säädössä lisätä rakennuksen sähkönkulutusta merkittävästi.

Lumianturin sekä erillisen lämpötilatermostaatin toiminnassa on kokemusten mukaan hyvin usein puutteita. Varmatoiminen ratkaisu saadaan ohjaamalla lämmitystä DDC-järjestelmästä on/off-periaatteella ulkolämpötiloissa -5°C .. $+5^{\circ}\text{C}$. Tällöin vältetään esim. ajoluiskien liukkaus vaikeimmissa sääolosuhteissa.

Sulanapitolämmityksen ominaissähkönkulutus

Kuvassa 47 on esitetty eritehoisten sulanapitolämmitysten vuotuinen ominaissähkökulutus, kun lämmitystä ohjataan ulkolämpötilatermostaattilla välillä +5 °C .. -5 °C.



Kuva 47. Ulkoalueiden sulanapitolämmityksen ominaissähkökulutus erilaisilla asennustehoilla. Ohjaus ulkolämpötilatermostaattilla välillä +5 °C .. -5 °C.

2.8.3 Saattolämmitykset

Saattolämmitys on yleisnimitys erilaisten putkistojen ja niihin liittyvien laitteiden sulanapitoon ja käyttölämpötilan ylläpitämiseen. Saattolämmitystä on sovellettu kiinteistöissä mm. seuraavissa kohteissa:

- sadevesikouruissa
- käyttövesiputkistoissa
- viemäreissä.

Räystäskourun vaatima sulatusteho on sisäpuolisissa, kattoon upotettavissa kouruissa 30 - 50 W/jm ja ulkopuolisissa kouruissa 40 - 60 W/jm. Muovisten käyttövesiputkien saattolämmityksen teho on alle 10 W/jm.

3 MENETELMÄ SÄHKÖLAITTEIDEN KULUTUSSEURANTAAN

3.1 YLEISTÄ

Rakennusten sähköverkko on useimmiten sellainen, että sähkökeskuksesta lähtevän yhden ryhmälähdön takana voi olla monenlaista sähkökuormaa esim. valaistusta ja pistorasiakojeita. Monessa tapauksessa merkittäväillä kiinteistökuormilla, kuten esim. ulkovalaistuksella, LVI-koneilla, autosähkölämmöllä ym., on oma lähtönsä sähkökeskuksessa. Tämä sähkökeskusten rakenne merkitsee sitä, että eri kuormaryhmien (esim. valaistus, pistorasiat) mittaaminen erikseen ryhminä muutamalla mittarilla sähkökeskuksesta käsin on mahdotonta. Jos siis jonkin ryhmäkeskuksen syöttöalueen valaistuskuormitus halutaan mitata, vaatii se useimmiten hyvin monikanavaista, lähtökohtaista mittausta. Yksittäisten laitteiden mittaaminen vaatii laitekohtaista anturointia ja tiedonsiirtoyhteyttä anturilta tietoja keräävälle keruuyksikölle. Vähänkin laajempien mittausten suorittaminen on hyvin kallista ja usein käytännössä mahdotonta.

Sähkönkäytön kuormitusjakaumien edes osittainen selvittäminen rakennuksessa on hyvin vaikeaa perinteisellä mittaustekniikalla edellä mainitusta sekaryhmittelyn ja jälkimittareiden puuttumisen vuoksi. Uutena ratkaisuna tähän ongelmaan VTT Energian tutkimusyksikön energiajärjestelmien tutkimusalueella alettiin v. 1993 kehittää osakuormien mittaustekniikkaa, jossa laitteiden päälle- ja poiskeytyminen pyritään tunnistamaan kytkentähetkillä sähkökeskuksen sähkötehoissa (pätö- ja loisteho) tapahtuvista muutoksista. Tällöin sähkökeskuksen ryhmittelyt eivät vaikuta mittauslaitteiston kokoonpanoon ja tarvitaan ainoastaan yksi riittävän tehokas mittauslaite. Toisaalta laitteiden kytkentöjen tunnistaminen mittausdatasta vaatii tunnistettavien laitteiden toimintatapojen hyvää tuntemusta ja monimutkaisia tunnistusalgoritmeja. Lisäksi tunnistustarkkuus heikkenee laitteiden ja niiden aiheuttamien tehomuutosten määrän kasvaessa hyvin suureksi yhtäaikaisten kytkentätapahtumien lisääntyessä.

Tämän mittaustekniikan tutkimus ja kehittäminen alkoi Yhdysvalloissa MIT:ssä (Massachusetts Institute of Technology) v. 1983 EPRI:n (The Electric Power Research Institute) rahoituksella. Sovellutuskohteena on ollut kotitalouksien sähkölaitteiden kuormitusten tunnistaminen. Kaksivaiheista mittalaitetta on kehitetty sähkölaitosten suorittamia kuormitustutkimuksia varten. Mittauslaite on erityisesti tähän tarkoitukseen rakennettu 1-vaiheiseen kWh-mittariin liitettävä "kaulus". Pyrkimyksenä Yhdysvalloissa on ollut rakentaa täysin automaattinen järjestelmä, joka oppii laitteiden kuormituskäyttäytymisen ("Automatic-Setup Non Intrusive Appliance Load Monitoring System"). Kotitalouksien seurantaan soveltuvan mittausjärjestelmän kaupallistamisvaihe on tällä hetkellä käynnissä ja suurempiin rakennuksiin tarkoitettua järjestelmää kehitellään.

Euroopassa Ranskan sähköyhtiö Electricite de France on yhdessä Schlumberger Industriesin kanssa v. 1989 lähtien kehittänyt 1-vaiheista mittauslaitetta, josta v. 1992 valmistui ensimmäinen prototyyppi. Ranskassa suurin osa kotitalouksista on liitetty 1-vaiheisesti sähköverkkoon. Laite on suunniteltu kotitalouksien sähkölaitteiden mittaamiseen. Ranskalaiset ovat kehittämässä tunnistustekniikkaa, joka perustuu cluster-analyysiin, Markovin malleihin ja Viterbi-algoritmiin.

Tanskassa aiheesta on tehty tutkimus ja koemittauksia 1990-luvun alussa. Laitteiden tunnistuksessa oli pyritty soveltamaan sumeaa logiikkaa. Koko hanke kuitenkin loppui sopivan mittauslaitteen puuttumiseen v. 1993

V. 1995 alussa perustettiin suomalaisten, ranskalaisten ja tanskalaisten yhteinen työryhmä, joka tekee yhteisen raportin kyseisten maiden tilanteesta tämän uuden mittaustekniikan osalta ja pyrkii löytämään yhteistyömahdollisuuksia. Työryhmä on yksi neljän kuormitustutkimukseen liittyvän työryhmän kokonaisuudesta, jossa etsitään mahdollisuuksia käynnistää laajempia hankkeita EU:n puitteissa.

3.2 MITTAUSJÄRJESTELY

3.2.1 Mittausmenetelmän periaatteet

Sähkökuormien tehonkäyttö muodostuu kahdesta komponentista: pätö- ja loistehosta. Täysin resistiivisiä (ei loistehokomponenttia) kuormia ovat tyypillisesti sähkölämmityskuormat, liesi ja hehkulamppuvalaistus. Muut kuormitukset muodostuvat sekä induktiivisesta että resistiivisestä komponentista. Tehokerroin $\cos \phi$ kuvaa virran ja jännitteen välisen vaihekulman suuruutta. Jos $\cos \phi = 1$, on kuorma täysin resistiivinen ja jos $\cos \phi = 0$, on kuorma täysin induktiivinen. Jokaiselle kuormamuutokselle voidaan määritellä tehomuutoskoordinaatit ($\Delta P_i/W$, $\Delta Q_i/VAR$). Kuormamuutoksen näennäisteho ΔS_i muodostuu näiden komponenttien vektorisummasta. $\Delta P, \Delta Q$ -parit muodostuvat pisteryhmistä eli clustereista, koska samankin laitteen eri aikoina ja eri lämpötilassa ottama teho kytketymistilanteissa saattaa vaihdella jonkin verran. Lisäksi muutosten rekisteröintitekniikka aiheuttaa tiettyä epätarkkuutta. Laitteen päälle- ja poiskeytymistehot voivat poiketa huomattavastikin toisistaan (esim. kylmälaitteet).

Mitatun loistehon suuruuteen vaikuttaa se, miten paljon virrassa olevia yliaaltoja mitataan. Verkon perustaajuuden mukaan mitattuun loistehoon on lisättävä yliaaltojen aiheuttama loisteho, jotta saataisiin ns. säröllinen kokonaisloisteho. Tyypillisesti elektroniset laitteet (esim. televisio, PC) tuottavat paljon virran yliaaltoja, jolloin niiden ottama perustaajuuden loisteho ja kokonaisloisteho poikkeavat huomattavasti toisistaan. Periaatteessa laitteen virran yliaaltospektriä samoinkuin kytkentätransienttiä voitaisiin käyttää hyväksi laitteiden tunnistamisessa, mutta samalla mittalaitteen vaatimukset kasvavat huomattavasti. Laitteiden tunnistamisen kannalta perustaajuuden loisteho on yksikäsitteisin ja sitä tarkoitetaan seuraavassa puhuttaessa loistehosta.

Menetelmässä mitataan sähkökeskuksen summatehon pätö- ja loistehot (P,Q) sekä jännite (U) riittävän tiheästi, esim. sekunnin välein. Tämän jälkeen tehoarvot skaalataan nimellisjännitteeseen nähden, jolloin poistetaan jännitevaihteluiden vaikutus tehoihin seuraavasti:

$$P_N = (P/U^2) * 230^2$$

$$Q_N = (Q/U^2) * 230^2.$$

Tehomuutokset aikavälillä (i, i-1) saadaan nyt seuraavasti:

$$\Delta P_N = P_{Ni} - P_{N(i-1)}$$

$$\Delta Q_N = Q_{Ni} - Q_{N(i-1)}.$$

Tehomuutos kirjataan muistiin, mikäli se ylittää määritellyn kynnsarvon ja mikäli kokonaisteho tehomuutoksen jälkeen on asettunut stabiiliin tilaan. ($\Delta P, \Delta Q$)-muutospareista muodostuu (P,Q)-tasolle pisteryhmiä, jotka kuvaavat eri laitteiden "sormenjälkiä" sähköverkossa.

3.2.2 Mittausjärjestelmä

Rekisteröintilaitteena päätettiin kokeilla 3-vaiheista, digitaalista kWh-mittaria. Mikroprosessoripohjaisten sähkömittarien kehittymisen myötä sähköiset suureet (eri vaiheiden virrat, jännitteet, pätö- ja loistehot) ovat luettavissa suoraan mittarista RS-sarjaväylän avulla. Suomessa Mittrix Oy on kehittänyt suurten kuluttajien laskutusmittaukseen sopivan monipuolisen sähkömittauslaitteiston.

Koemittauksissa käytettiin Mittrix Oy:ltä hankittua digitaalista kWh-mittaria tyyppimerkiltään MXPQ 1165. Tämä mittari soveltui erikoiskalibroinnin jälkeen sormenjälkien rekisteröintiin. Myöhemmin saatiin käyttöön Mittrix:n sähkönlaatumittarin alakortti, joka soveltui suoraan tähän tehtävään.

Liitteessä 3 on esitetty mittauslaitteiston kaaviokuva. Mittari liitetään sähkökeskuksen syöttöjohtoihin virtamuuntajien välityksellä. Lisäksi mittari tarvitsee kolmivaiheisen jännitesyötön. Kannettavalla PC:llä luetaan jatkuvasti mittarin alakortin sarjaväylästä sekunnin välein pätö-, loisteho ja jännite. Tällä hetkellä mittauksen aikana tarvitaan aina PC mittarin luona. Tulevaisuudessa, kun tekniikkaa kehitetään edelleen, on todennäköisesti mahdollista siirtää muutosten rekisteröinti ja lyhytaikainen puskurointi mittarin sisälle, jolloin puhelinmodeemin välityksellä pystytään purkamaan datat yhdessä paikassa olevalle PC:lle tai käydä lukemassa kannettavalla PC:llä datat määrääjain.

Kuvassa 48 on esitetty kaaviona osakuormien mittaukseen soveltuvan prototyypijärjestelmän hardware-ja software-osat. Mittaukseen liittyvät ohjelmalohkot suoritetaan *on line* mittauspaikalla ja analyysin ohjelmalohkot myöhemmin mittausdatojen käsittelypaikalla.

Kannettavassa PC:ssä oleva ohjelma rekisteröi haluttua kynnysarvoa suuremmat muutokset ja tallentaa ne tiedostoon sekunnin tarkkuudella. Lisäksi kerätään kokonaispätö- ja loistehon sekä eri vaiheiden jännitteiden 15 minuutin keskitehoja. Mittauksen aikana tapahtuvista mittarin antamista virhekoodeista kerätään omaa tiedostoa.

Kaikki tehomuutokset talletaan nimellisjännitteen neliöön (230^2V) normitettuna arvoina. Näin voidaan eliminoida jännitevaihteluiden aiheuttama vaikutus tehomuutoksiin.

3.2.3 Analysointi-algoritmien pääperiaate

Mittausdatojen analysointia varten kehitettiin ohjelmisto käyttöliittymineen. Se on toteutettu Microsoftin Visual Basic 3.0:lla ja toimii Windowsin alla. Kuvassa 48 on esitetty ohjelmiston päälohkoja.

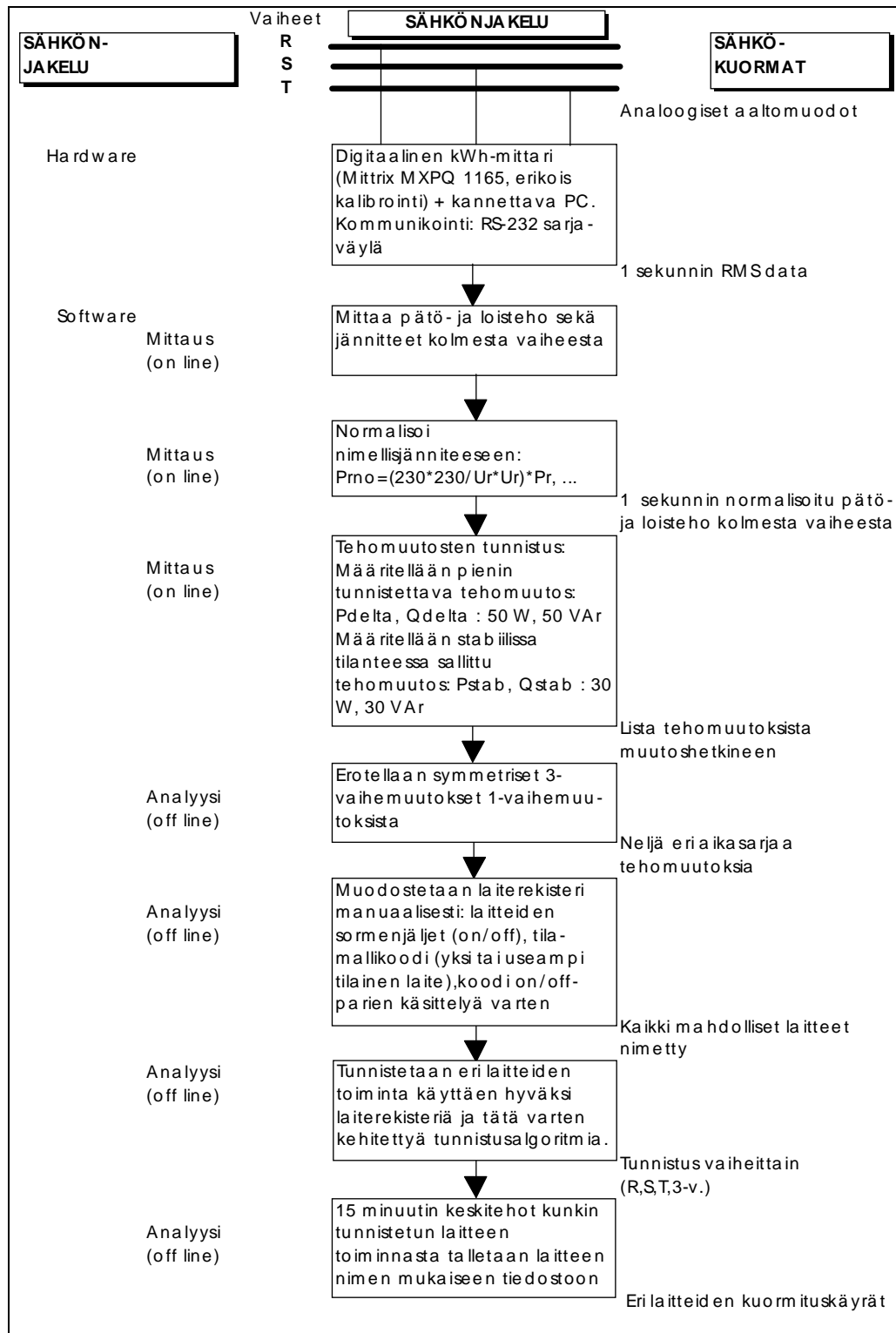
Ensimmäisessä vaiheessa mittausdatoista erotellaan omaksi aikasarjaksi symmetriset kolmivaihemuutokset. Samalla pystytään erottelemaan myös kolmivaihemuutoksiin integroituneet samanaikaiset yksivaihemuutokset.

Laiterekisteri sisältää tiedot tunnistettavista laitteista. Tällä hetkellä se laaditaan manuaalisesti, mutta tulevaisuudessa sen laadinta voisi tapahtua automaattisesti mittausdatojen ja suuren laitetietokannan avulla. Laitteiden sormenjälkien selvittäminen edellyttää mittarin asennuksen yhteydessä tehtävää kytkentäkokeilua kohteessa. Laitteiden muutostehot mitataan sekä päälle- että poismentilanteessa. Tehoarvot ovat keskiarvoja ja tunnistusprosessissa tehot voivat poiketa keskiarvosta tietyn hajonnan verran, jonka on määritelty ohjelmassa.

Jokainen tunnistettava tehonmuutos on koodattu omalle numerolle, jonka perusteella algoritmi sen tunnistaa ja osaa nimetä laitteen ja laiteryhmän. Muut laiterekisterissä annetut tiedot ovat koodeja, jotka kuvaavat laitteen ominaisuuksia (On/Off-laite tai monitilainen laite, maksimi mahdollinen päällä oloaika jne.). Hehkulamput muodostavat oman erikoisryhmänsä. Yksittäisen hehkulamppuväläisimen kuluttaman energian määrittäminen ei tällä menetelmällä onnistu, mutta algoritmi laskee jollakin tarkkuudella kokonaisuutena hehkulamppujen ja muiden pienten resistiivisten laitteiden kuluttamaa summaenergiaa.

Laitteiden toiminnan identifointi tapahtuu neljän mittausaikasarjan (R-,S-,T- ja 3-vaihe) ja laiterekisterin avulla. Ainoastaan laiterekisterissä mainittuja laitteita pystytään tunnistamaan. Tehomuutosaikasarjat käsitellään vuorollaan aikajärjestyksessä ja yhteensopivat tehomuutosparit yhdistetään toisiinsa kehitetyn algoritmin avulla. Monitilaisten laitteiden tapauksessa algoritmi generoi uusia laskennallisia tehomuutoksia aikasarjaan laskennan edistyessä ja ne yhdistetään sopiviin tehomuutospareihin. Löydettyään sopivat parit ohjelma laskee laitteen 15 minuutin keskitehot suorittamalla ns. takaisin normituksen mitattujen 15 minuutin jännitekeskiarvojen avulla. Näin saadut keskitehot talletetaan laiteryhmänimen

mukaiseen tiedostoon.



Kuva 48. Osakuormien mittausjärjestelmän kaaviokuva.

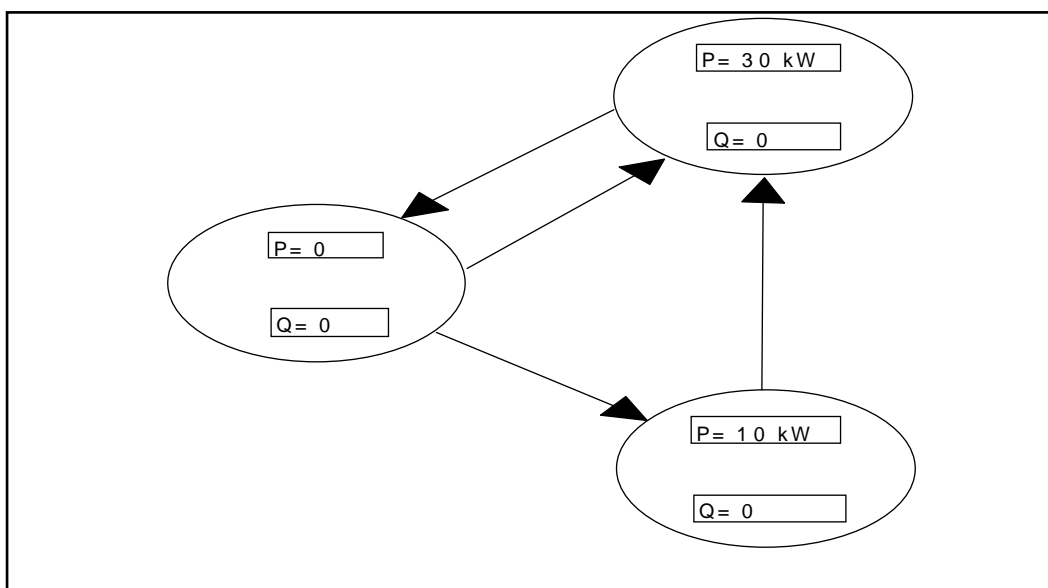
3.3 DEMONSTRAATIOKOHTEIDEN TULOKSET

3.3.1 Omakotitalo

Koemittaustaloksi valittiin VTT Energian erään työntekijän kolmikerroksinen kokonaispinta-alaltaan 275 m²:n omakotitalo pääkaupunkiseudulta. Kyseisessä omakotitalossa on kaksi sähkökeskusta, joista toiseen keskukseen (alakeskus) on kytketty makuuhuoneiden, olohuoneen ja keittiön laitteet ja toiseen eli pääkeskukseen edellisen lisäksi varaavan sähkölämmityksen ja muun kiinteistösähkön kuormat (mm. autotallin valaistus, ulkopistorasiat). Lämmitysjärjestelmä on täysin varaava vesikeskuslämmitys, minkä vuoksi talon pääsulakkeet ovat 63 A:n suuruiset. Vesivaraajan maksimiteho on noin 30 kW.

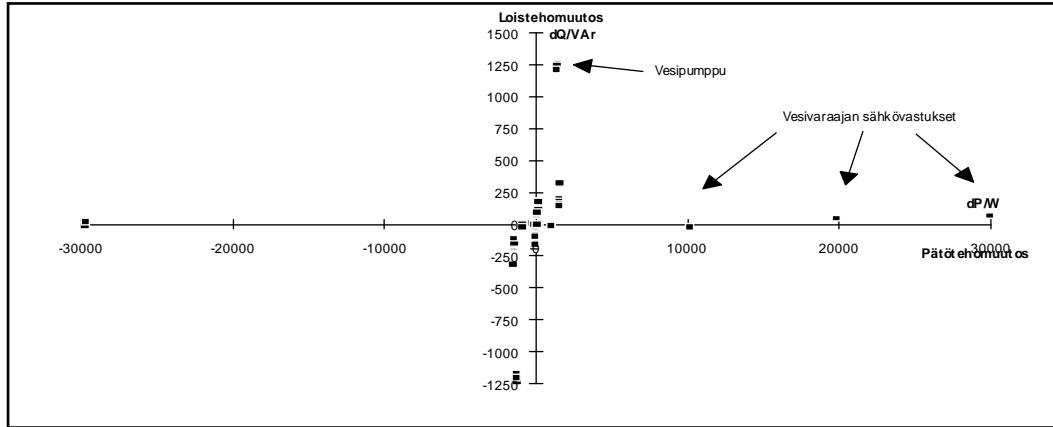
Kyseisessä kohteessa kodin sähkölaitekanta on runsas: kaksi jääkaappia, arkkupakastin, 1-vaiheinen sähköliesi tai -uuni, astianpesukone, leipäkone, mikroaaltouuni, kaksi kahvinkeitintä, leivänpaahdin, kaksi pölynimuria, pyykinpesukone, silitysrauta, kaksi mikrotietokonetta, kaksi televisiota, vesipumppu, lukuisa joukko loisteputkivalaisimia ja kierrekantaloisteputkivalaisimia, kymmeniä hehku-lamppuja ym.

Kuormien tunnistusmittaus aloitettiin siten, että kuormitukset kytkettiin pois päältä ja sen jälkeen kytkettiin ne laitteet päälle, jotka toimivat jatkuvasti (esim. kello-radio, TV standby-tilassa, jne). Tämän jälkeen kytkettiin laitteita yksitellen päälle ja pois, jolloin yksittäisen laitteen sormenjälki voitiin kirjata. Vesivaraajan sähkövastuksia käytetään yösähköllä siten, että sähkölaitoksen verkkokäskyohjaus ohjaa 1/3-tehon (10 kW) päälle klo 21 ja loput 2/3-tehon (20 kW) päälle klo 23. Myöhemmin yöllä vastukset kytkeytyvät suoraan täydelle teholle. Vesivaraajan vastusten kuormitusmalli on esitetty kuvassa 49.

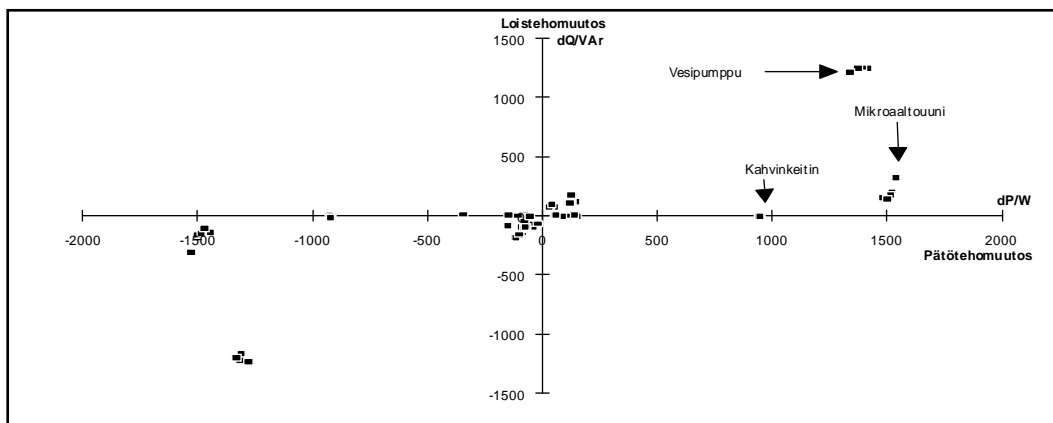


Kuva 49. Vesivaraajan kuormitusmalli ja sähkötehot.

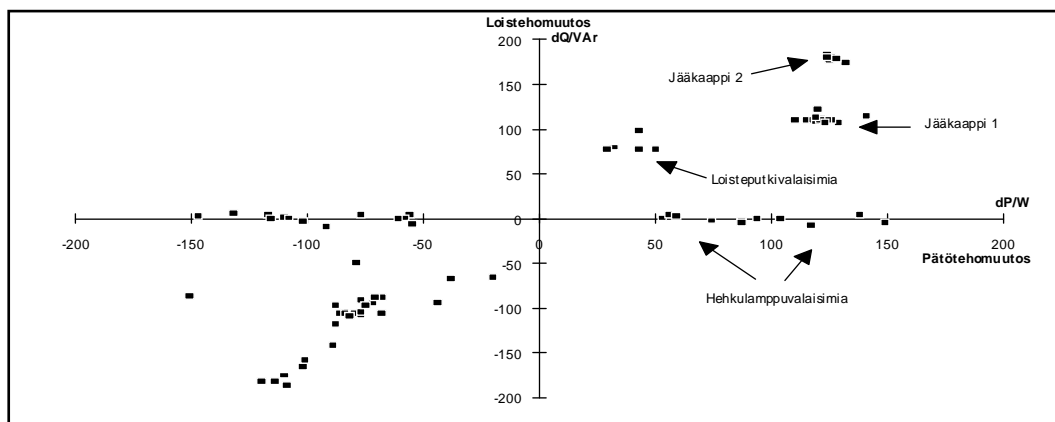
Kuvissa 50, 51 ja 52 on esitetty mittaustuloksia yöaikaisista laitteiden muutoksista. Kuvissa loistehoakselin oikealla puolella ovat laitteiden päällekytkymiset ja vasemmalla puolella niiden poispäältäkytkennät. Mittaus on aloitettu hieman ennen klo 21 ja lopetettu aamulla klo 7. Sähkövaraaja on ohjautunut päälle kuvan 49 mallin mukaisesti sekä sähkölaitoksen verkkokäskyohjauksella portaittain illalla



Kuva 50. Laitteiden aiheuttamia tehonmuutoksia omakotitalossa klo 21-7.



Kuva 51. Laitteiden aiheuttamia tehonmuutoksia omakotitalossa klo 21-7. Pätötehoasteikkoja muutettu.

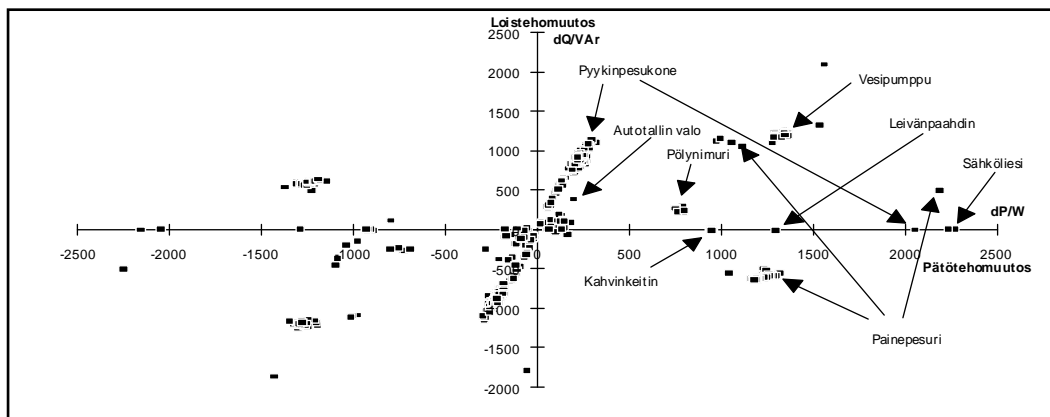


Kuva 52. Laitteiden aiheuttamia tehonmuutoksia omakotitalossa klo 21-7. Pätö- ja loistehoasteikkoja muutettu.

että termostaattiohjattuna suoraan täydelle teholle yhden kerran yöaikana. Kuvassa 51 tehoasteikkoja on kutistettu, jotta keskisuurten laitteiden tehoklusterit tulisivat paremmin esiin. Kuvasta havaitaan kahvinkeitin ja mikroaaltouunin toiminnot illalla. Vesipumppu on käynnistynyt ja pysähtynyt neljä kertaa mittaajaksolla. Pätö- ja loistehoasteikkoa on supistettu arvoon 200 kuvassa 52. Tällöin paljastuvat jääkaappien, loisteputkivalaisimien ja hehkulamppujen kytkentämuutostehot. Kuvista havaitaan, että laitteiden päällekytkentätehot ryhmittyvät selvemmin kuin niiden poiskytkentätehot.

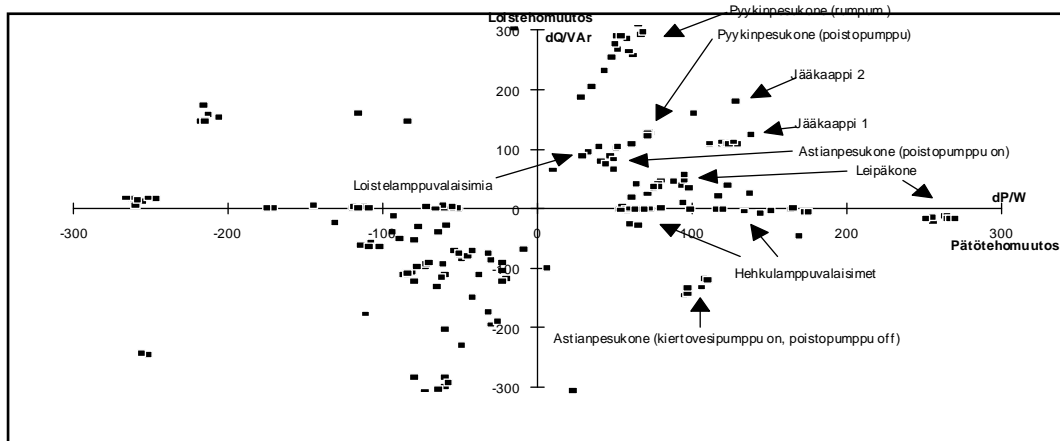
Kuvissa esiintyvät tehomuutospisteet, jotka eivät liity suoranaisesti mihinkään pisteryhmään ovat pääasiallisesti kahden laitteen samanaikaisia kytkentöjä tai mahdollisesti tunnistamattomien harvoin kytkeytyvien laitteiden aiheuttamia tehomuutoksia.

Kuvassa 53 on esitetty mittaustuloksia päiväaikaista laitteiden tehomuutoksista. Kyseessä on viikonloppu, jolloin eri laitteita on käytetty ahkerasti perheenjäsenten toimesta normaaliin tapaan. Erikoisuuksina ovat painepesurin kolme eri tehomuutosclusteria ja pyykinpesukoneen tyristoriohjatun rumpumoottorin tehoklusterisuora. Painepesurin tehotilat ovat seuraavat: A. käynnistys tyhjänä ($P=1000$ W, $Q=1100$ VAR), B. käynnistys vesipistoolin liipasin alhaalla ($P=2200$ W, $Q=500$ VAR), C. moottori käy ja vesipistoolin liipasin painetaan alas ($P=1200$ W, $Q= -600$ VAR) eli $A+C=B$. Pyykinpesukoneen rumpumoottorin pyöritystehot osuvat samalle tehoklusterisuoralle, mikä johtuu tyristoriohjauksesta. Muut pyykinpesukoneeseen liittyvät kuormitustilamuutokset muodostuvat lämmitysvastuksen ja veden poistopumpun kytkeytymisistä.



Kuva 53. Laitteiden tehomuutoksia omakotitalossa lauantai-iltapäivällä.

Kuvassa 54 on esitetty sunnuntaipäivän mitattuja tehomuutospareja. Uusina laiteklustereina siinä ovat leipäkoneen ja astianpesukoneen kuormitustilamuutokset. Astianpesukoneessa kiertovesipumppu menee päälle samanaikaisesti kun poistopumppu pysähtyy. Kun lisäksi vielä kiertovesipumpun moottorin rinnalle kytketty kondensaattori on jatkuvasti toiminnassa moottorin käydessä, muodostaa astianpesukone varsin erikoisen tehoklusterin ($P=100$ W, $Q= -120$ VAR). Tätä vastaava tehopari päinvastaisessa kytkentätilanteessa on $P= -210$ W, $Q= 150$ VAR. Tehon nousu pesuvaiheen alusta sen loppuun johtuu ilmeisesti siitä, että veden pinnan noustessa astianpesukoneessa kiertovesipumpun kuormitus kasvaa.



Kuva 54. Laitteiden tehomuutoksia sunnuntaipäivänä omakotitalossa.

Mittausdatoista löytyi ainoastaan kahden kylmälaitteen "sormenjalkia" ja koska kohteessa on kolme kylmälaitetta: kaksi jääkaappia ja yksi pakastin, päätettiin vanha arkkupakastin kytkeä manuaalisesti toiseen vaiheeseen ja seurata sen aiheuttamia tehomuutoksia. Manuaalisesti tehty tehomuutos rekisteröityi, mutta sen jälkeen laite ei enää termostaatin ohjaamana kytkeytynyt pois päältä, vaan toimi jatkuvasti. Laitteen sähkönkulutus on siten maksimissaan koko ajan. Samoin mittauksissa havaittiin auton lohkolämmittimen johdon olevan irti, koska ainoastaan auton sisälämmittimen tehomuutos rekisteröityi mittauksissa.

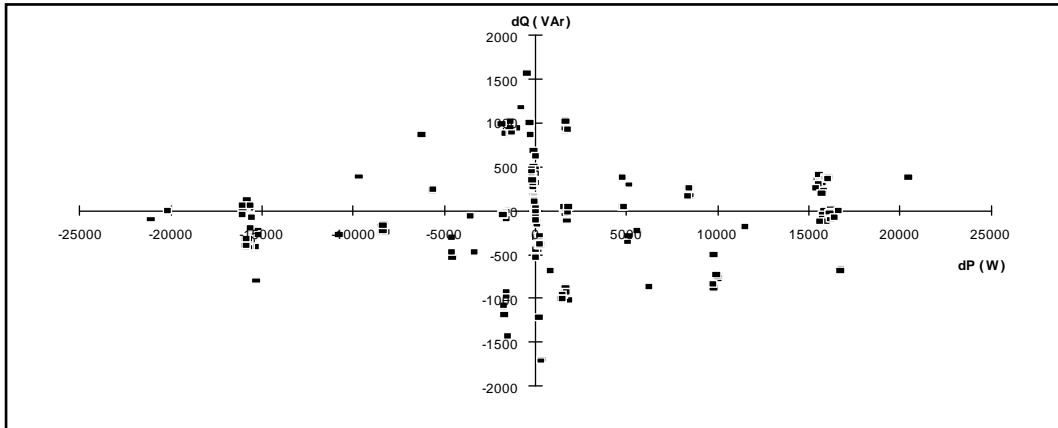
Kyseessä olevan omakotitalon vuorokautinen sähkönkulutus vaihteli tammi-helmikuussa 140 - 190 kWh, josta 80 - 85 % kului vesivaraajassa. Loppukulutus (keskim. 26 kWh/vrk) kului kotitalouslaitteisiin ja muuhun kiinteistö sähköön. Vesivaraajan kulutus pystyttiin erottelamaan 100 %:sesti uudella mittaustekniikalla ja muusta kulutuksesta pystyttiin jakamaan komponentteihin noin 60 - 70 %.

3.3.2 Koemittaukset liikerakennuksessa ja päiväkodissa

Koemittauksia päätettiin tehdä myös suuremmissa rakennuksissa, jotta saataisiin riittävästi erityyppistä dataa varsinaisen kuormien tunnistusalgoritmin kehittämistä varten. Erityisesti 3-vaiheisten sähkökuormien käyttäytymisestä haluttiin mittausdataa. Tämä mahdollisuus tarjoutui Imatran Voima Oy:n 100 energiatehokasta palvelurakennusta -projektin yhteydessä.

Ensimmäiseksi kohteeksi valittiin Viipurin Autola Kouvolassa. Rakennuksessa on automyymälä ja -korjaamo sekä toimistotiloja. Rakennuksen lämmitys on toteutettu säteilylämmittimillä ja ilmastoinnin sähköisellä jälkilämmityksellä. Laitteiden kytkentäkoikeilu suoritettiin illalla työajan jälkeen. Varsinainen mittaus sekunnin aikaresoluutiolla kesti yhden vuorokauden. Kaikki mittaukset suoritettiin rakennuksen pääkeskuksessa liittymäjohdoista. Toiseksi kohteeksi valittiin Lintumetsän päiväkotikoti Leppävaarassa. Mittauksia suoritettiin keittiön sähkökeskuksessa ja ilmastointihuoneen sähkökeskuksessa. Keittiö on valmistuskeittiö, jossa päivittäin valmistetaan ateriat päiväkodin henkilökunnalle ja siellä hoidossa oleville lapsille. Keittiön sähkökeskuksen kuormina olivat astianpesukone (9 kW+1,5 kW), kiertoilmauuni (19 kW+0,4 kW), liesi (12 kW), keittokattila (12 kW) ja yleiskone

(0,75 kW). Kuvassa 55 on esimerkki havaituista tehonmuutoksista yhden päivän aikana. Suurin osa muutoksista ryhmittyy omiin klustereihinsa, mutta kuvassa näkyvät yksittäiset muutostapahtumat ovat joko kahden muutoksen summia tai tyristoriohjattujen laitteiden aiheuttamia muutoksia.



Kuva 55. Laitteiden aiheuttamat tehonmuutokset päiväkodin keittiössä 4.10.94 klo 7-15.

Lisäksi päiväkodin ilmastointihuoneen sähkökeskuksessa suoritettiin koemittauksia. Kuormina olivat tulo- ja poistoilmapuhaltimet, keskuspölynimuri, 4 valaistusr ryhmää, keittiön pakastimien ja kylmion kylmäkoneet. Pakastimien käyntijaksoissa havaittiin hyvin nopeita kytkentäjaksuja (tiheimmillään 20 s On ja 20 s Off), minkä johdosta tehomuutoksia rekisteröityi suuria määriä tiedostoihin. Koska kyseinen epänormaalin tiheä kytkentäjakso ei ole normaalia kylmälaitteen toimintaa ja saattaa johtaa kylmälaitteen ennenaikaiseen vikaantumiseen, asiasta informoitiin rakennuksen käyttäjiä.

3.4. YHTEENVETO

Perinteinen sähkökuormien mittaaminen, jossa jokaiselle laitteelle tai laiteryhmälle asennetaan oma tehomittaus, on hyvin kallis ja sisältää paljon asennustyötä ja kalliita laitteita (mittarit ja tiedonsiirto keruuyksikköön). Lisäksi se on käytännössä usein mahdoton toteuttaa, koska laitteet ovat sekaryhmissä ja hajallaan rakennuksessa. Näitä ongelmia ei tässä esitetyllä uudella osakuormien mittaustekniikalla ole, koska mittaaminen tapahtuu yhdessä pisteessä ja mittaukseen tarvittavan sähkömittarin hinta on noin 2000 - 3000 mk. Osakuormien mittaustekniikan avulla saadaan laitteiden kuormituskäyristä laskennalliset arvot, jotka eivät välttämättä ole absoluuttisesti aivan tarkkoja. Virhettä voi muodostua pienempien laitteiden tunnistamisessa mm. laitteiden suuren kytkentätiheyden vuoksi. Sen seurauksena mittaustiedossa on paljon samanaikaisia tapahtumia. Yleensä laskennallisesti saadut energiat ovat pienempiä kuin todelliset. Suuremmat laitteet tunnistuvat paremmalla tarkkuudella kuin pienet. Mittauspisteen kokonaisteho rekisteröityy tarkasti mittarin tarkkuusluokan mukaan (1 %).

Tällä menetelmällä ei pystytä tunnistamaan seuraaventyypisiä sähkökuormia:

- jatkuvasti päällä olevat kuormat
- hyvin pienet kuormat < 50 W

- jatkuvasti tehoaan muuttavat kuormat.

PC-ympäristöön kehitetyn analysointityökalun tämänhetkiset puutteet ovat seuraavat:

- ei pysty erottelemaan toisistaan samassa vaiheessa tapahtuneita yhtäaikaisia tehomuutostapahtumia
- mikäli tunnistamatta jää saman laitteen peräkkäiset off- ja on-tapahtumat esim. yhtäaikaisten tapahtumien vuoksi, yhdistyvät toisiinsa ensimmäisen jakson on- ja toisen jakson off-tapahtumat, mistä on seurauksena virhetulkinta.

Kaikki muualla maailmassa kokeillut järjestelmät (Yhdysvallat ja Ranska) ovat perustuneet erityisesti tätä mittaussovellutusta varten rakennettuihin yksi- tai kaksivaiheisiin erikoismittalaitteisiin, jotka on tarkoitettu yksi- tai kaksivaiheisella sähkösyötöllä toteutettujen kotitalouskuluttajien mittauksiin. Kun mitataan yksivaiheisesti ns. yhtäaikaisten tapahtumien määrä kasvaa jo kotitalouden kuluttajia mitattaessa suureksi, mikä vaikeuttaa laitteiden tunnistamista ja aiheuttaa epätarkkuutta. Tunnistusalgoritmit muodostuvat hyvin monimutkaisiksi. Kolmivaihemittauksen suurena etuna on se, että muutokset jakaantuvat kolmelle vaiheelle, jolloin eri vaiheiden samanaikaiset tapahtumat eivät integroidu yhteen. Samoin symmetriseen kolmivaihemuutokseen integroitunut yksivaihemuutos on suhteellisen helppo erotella erikseen. Suuremmissa rakennuksissa laitemäärien ja pääkeskuksen sähkösyötössä tapahtuvien laitteiden aiheuttamien tehomuutosten lukumäärän kasvaessa suureksi mittaukset on suoritettava ryhmäkeskustasolla, mikäli halutaan selvittää myös pienitehoisten laitteiden toimintaa.

Tässä esitetty mittausjärjestelmän prototyyppi on ilmeisesti ainoa laatuaan maailmassa, jolla pystytään mittaamaan ja erottelemaan laitteiden sähköverkossa aiheuttamia pätö- ja loistehojen muutoksia kolmivaiheisesti käyttäen hyväksi digitaalista kWh/kVAR-mittaria. Kolmivaihemittaus soveltuu sekä kotitalouden että muiden kuluttajien mittaamiseen. Sovelluksia on mahdollista kehittää sekä sähkölaitoksille, voimayhtiöille, tutkimuslaitoksille että kuluttajille kulu- tussurannan, energianhallinnan ja energia-analyysien alueelle, koska itse mittalaitteen hinta ei muodostu kannattavuusesteeksi. Lisäksi tämän tyyppisen mittausjärjestelmän käyttö laitteiden vikadiagnostiikassa on mahdollista, mikä voitiin todentaa valituissa mittauskohteissa havaituista laitevioista.

Lupaavana sovellusalueena on nähtävissä osakuormien mittausjärjestelmän liittäminen osaksi kiinteistöautomaatiojärjestelmää, jossa se toimisi älykkäänä anturina korvaten esim. ilmastointipuhallinten yms. käyntiaikalaskurit. Mitattavasta keskuksista sähkönsä saavien laitteiden kuormituskäyrien mittauksen lisäksi järjestelmään voidaan rakentaa vikadiagnostiikkaa mahdollisten laitevikojen ilmaisemiseen.

4 EHDOTUS KULUTUSLUOKITTELUKSI

4.1 KULUTUSLUOKITTELUN KUVAUS

Seuraavassa on esitetty ehdotus eri sähkölaiteryhmien luokittelumenetelmäksi, jolla määritetään sähkölaitteiden kulutuksille ja energiatehokkuuksille tavoitetasot. Sähkölaitteiden kulutusluokittelulla yhtenäistetään eri kokoisten ja käyttötavoiltaan erilaisten sähkölaitteiden kulutukset yhden luokittelutunnuksen alle. Luokittelun avulla määritetään laitteiden ”energiatekninen hyvyys”. Sähkölaitteen sisäisiä ominaisuuksia ei tarvitse tuntea voidakseen valita energiatehokkaan laitteen, vaan luokittelutunnus kertoo laitteen energiatehokkuuden sijoittumisen omassa laityryhmässään. Kiinteistökohtaiset kulutusluokittelut on laskettu malliksi myös toimistorakennuksille sekä asuinrakennuksista pientaloille ja kerrostaloille summaamalla kunkin rakennuksen tyypillisistä palveluista rakennustason kulutukset.

Luokittelussa määritetään keskimääräinen taso (D-taso), joka on nykyisellä käytössä olevalla teknologialla mahdollista saavuttaa (tai nykyisen sähkölaitekannan keskimääräinen kulutus). Asteikkona käytetään kirjaimia A:sta G:hen. Taso A edustaa energiaa säästävää tekniikkaa ja taso G energiaa tuhlaavaa.

4.2 PUHALTIMET

Taulukossa 19 on esitetty SCANVAC:in vaatimukset puhaltimien sähkötehokkuudelle toimisto- ja liikerakennuksissa /3/. Esitetyt luvut sisältävät rakennuksen kaikki puhaltimet, eli luku on saatu jakamalla puhaltimien yhteenlaskettu tehontarve rakennuksen nimellisilmavirralla.

Taulukko 19. SCANVACin vaatimukset puhaltimien sähkötehokkuudelle /3/.

Luokka	Tehovaatimus (kW/m ³ /s)
VAS 1500	< 1,5
VAS 2500	< 2,5
VAS 4000	< 4,0
ei VAS luokitusta	> 4,0

Mittausten mukaan ruotsalaisissa /4/ toimistorakennuksissa keskimääräinen kulutus on välillä 2 - 4 kW/m³/s. Liikerakennuksissa jopa yli 70 % mitatuista arvoista on yli 5 kW/m³/s. SCANVACin heikoin laatuluokka (VAS 4000) pitäisi olla melko helposti saavutettavissa. Tavoitetasoa 1,0 kW/m³/s lienee melko vaikea saavuttaa nykytekniikalla uudisrakennuskohteissakaan. Sen sijaan tasoon 1,5 kW/m³/s pääsee suunnittelemalla järjestelmä huolellisesti ja mitoittamalla kanavisto tavanomaista väljemmäksi (yhtä kokoa suurempi kanavisto kuin tavallisesti).

Lähteessä /16/ tehdyissä tarkasteluissa on havaittu taloudellisesti optimaalisen SFP:n vaihtelevan käyntiajan mukaan. Laskelmat on tehty vakioilmavirtajärjestelmille. Takaisinmaksuaikana on käytetty 15 vuotta. Laitteet

olivat ruotsalaisen valmistajan tuotteita. Sähköenergian hinta oli 0,08 US\$/kWh eli noin 0,40 mk/kWh. Taulukossa 20 on esitetty esimerkkejä käyntiajan vaikutusta optimaaliseen SFP:hen eri korkokannoilla. Lukuarvoja voi soveltaa suuntaa antavina myös muuttuvilmavirtaiseen järjestelmään, jos ilmavirran laskentaperusteena käytetään keskimääräistä ilmavirtaa vuositasona.

Taulukko 20. Optimaalinen SFP eri käyntiajoilla ja korkokannoilla /16/.

Korkokanta (%)	Optimaalinen SFP (kW/(m ³ /s))	
	Käyntiaika 1000 h	Käyntiaika 8760 h
6	2,8	1,8
15	2,8	2,1

Optimaalinen SFP pienenee, kun käyttötuntien määrä kasvaa. Tyypillisellä toimistokäyttöajalla 2 500 h/a saadaan optimaaliseksi SFP:ksi 2,4 - 2,7 kW/(m³/s), investoinnin korkokannan mukaan. Tutkimuksessa on havaittu, että IV-koneen ilmavirta vaikuttaa vain vähän optimaaliseen SFP:hen. Merkittävin vaikuttava tekijä on vuosittainen käyttöaika. Taulukon 20 luvut pätevät ilmavirta-alueella 3 - 24 m³/s.

Kuvassa 56 on esitetty puhaltimille tulo-poistoilmalaitoksen energiatehokkuusluokittelu. Energiankulutus on laskettu tyypilliselle toimistokäyttöajalle 2 500 h. Normaalille toimistokäyttöajalle tulisi käyttää vähintään luokan D järjestelmää. Pelkälle poistoilmalaitokselle voidaan käyttää arvoja, jotka ovat noin 45 % tulo-poistolaitoksen arvoista. Luokan A saavuttaminen ei ole luultavasti taloudellisesti kannattavaa nykyisillä sähköenergianhinnoilla.

ENERGIATEHOKKUUSLUOKITTELU

Puhaltimet, tulo-poistojärjestelmä

Vähän kuluttava	Tehontarve kW/ (m ³ /s)	Energiankulutus kWh/ (m ³ /s),a
A	< 1,0	< 2 500
B	1,0 - 1,5	2 500 - 3 750
C	1,5 - 2,0	3 750 - 5 000
D	2,0 - 2,5	5 000 - 6 250
E	2,5 - 3,0	6 250 - 7 500
F	3,0 - 4,0	7 500 - 10 000
G	> 4,0	> 10 000
Paljon kuluttava		

Kuva 56. Puhaltimien energiatehokkuusluokittelu. Energiankulutus on laskettu käyntiajalle 2 500 h/a. Luokittelu koskee koko IV-järjestelmää, jossa tulo- ja poistopuhaltimien tehot on jaettu rakennuksen nimellisilmavirralla. Pelkälle poistoilmalaitokselle voidaan käyttää arvoja, jotka ovat 45 % tulo-poistolaitoksen arvoista.

4.3 PUMPUT

Kuvassa 57 on esitetty energiatehokkuusluokittelu rakennuksissa käytettäville pumpuille. Omakotitalojen pumpuille on käytetty paineenkorotuksena 10 kPa:ta, rivitaloille 30 kPa:ta ja kerrostaloille 50 kPa:ta. Vastaavasti vesivirta-alueena käytettiin $q_v < 0,2$ l/s, $0,2 < q_v < 0,5$ l/s ja $0,5 < q_v < 5,0$ l/s. ASHRAE standardi 90.1-1989 /16/ esittää pumppauksen ominaisteholle maksimiarvoa 300 W/(l/s). Tämä arvo koskee kaikkia rakennuksen vesikiertopiirejä (lämmitys -ja jäähdytysvesipiirit).

ENERGIATEHOKKUUSLUOKITTELU

Rakennusten LV-pumpuille, omakotitalot

Vähän kuluttava	Tehontarve (W/(l/s))	Energiankulutus (kWh/(l/s),a)
A	< 100	< 650
B	100 - 150	650 - 980
C	150 - 180	980 - 1 170
D	180 - 200	1 170 - 1 300
E	200 - 250	1 300 - 1 630
F	250 - 300	1 630 - 1 950
G	> 300	> 1 950
Paljon kuluttava		

ENERGIATEHOKKUUSLUOKITTELU

Rakennusten LV-pumpuille, rivitalot ja kerrostalot

Vähän kuluttava	Tehontarve (W/(l/s))	Energiankulutus (kWh/(l/s),a)
A	< 90	< 590
B	90 - 100	590 - 650
C	100 - 120	650 - 780
D	120 - 140	780 - 910
E	140 - 170	910 - 1 110
F	170 - 200	1 110 - 1 300
G	> 200	> 1 300
Paljon kuluttava		

Kuva 57. Energiatehokkuusluokittelu rakennusten LV-pumpuille. Energiankulutus on laskettu käyntiajalle 6 500 h/a.

4.4 KYLMÄLAITTEET








Kylmälaitteiden energiankulutus on sidoksissa laitteen kokoon ja lämpötilatasoihin. Kotitalouden kylmälaitteiden osalta on Euroopan yhteisön komissio julkaisut direktiivin /21/, jossa määritellään säännöt energiankulutuksen osoittamiseksi. Direktiivi astui voimaan jäsenmaissa 1.1. 1995.

Direktiivissä määritellään kylmälaitteelle energiatehokkuusindeksi, joka on laitteen energiankulutus jaettuna laitteen standardin mukaisella energiankulutuksella ilmaistuna prosentteina. Direktiivissä on annettu yksityiskohtaiset ohjeet eri kylmälaitteiden standardin mukaisen energiankulutuksen laskemiseksi.

Kuvissa 58, 59 ja 60 on laskettu kotitalouden kylmälaitteiden eri energiatehokkuusluokkien mukaisia vuosittaisia energiankulutusarvoja. Koska laitteen energiankulutus on suhteessa tilavuuteen, taulukkoihin on laskettu tilavuuden vaikutuksen havainnollistamiseksi kustakin laitetypistä kahta eri tilavuutta vastaavat arvot. Monimutkaisempien laitteiden (jää-viileä, monioviset laitteet, jääkaappi-pakastimet, yhdistelmäkaapit) laskemiseksi on direktiivissä annettu omat laskentaohjeensa.

ENERGIATEHOKKUUSLUOKITTELU

Kotitalouden kylmälaitteet

Vähän kuluttava	Jääkaappi 100 l (kWh/a)	Jääkaappi 300 l (kWh/a)
 A	< 147	< 173
 B	147 - 201	173 - 236
 C	201 - 241	236 - 283
 D	241 - 268	283 - 315
 E	268 - 295	315 - 347
 F	295 - 335	347 - 394
 G	> 335	> 394
Paljon kuluttava		

Kuva 58. Kotitalouden jääkaappien energiatehokkuusluokittelu.

ENERGIA TEHO KUUUSLUOKITTELU**Kotitalouden kylmälaitteet**

Vähän kuluttava	Kaappipakastin 100 l (kWh/a)	Kaappipakastin 300 l (kWh/a)
A	< 213	< 325
B	213 - 290	325 - 443
C	290 - 348	443 - 531
D	348 - 387	531 - 590
E	387 - 426	590 - 649
F	426 - 909	649 - 738
G	> 909	> 738
Paljon kuluttava		

Kuva 59. Kotitalouden kaappipakastimien energiatehokkuusluokittelu.

ENERGIA TEHO KUUUSLUOKITTELU**Kotitalouden kylmälaitteet**

Vähän kuluttava	Säiliöpakastin 100 l (kWh/a)	Säiliöpakastin 300 l (kWh/a)
A	< 152	< 258
B	152 - 208	258 - 352
C	208 - 249	352 - 422
D	249 - 277	422 - 469
E	277 - 305	469 - 516
F	305 - 346	516 - 586
G	> 346	> 586
Paljon kuluttava		

Kuva 60. Kotitalouden säiliöpakastimien energiatehokkuusluokittelu.

Kuvissa 61 ja 62 on esitetty suurtalouden kaappimallisten kylmälaitteiden eri energiatehokkuusluokkien mukaisia vuosittaisia energiankulutusarvoja. Kaappimallisten kylmälaitteiden kulutukset perustuvat tutkimuksessa mitattuihin Porkka Oy:n laitteisiin. Mitatut kulutukset asetettiin E-luokkaan ja muut kulutustasot määritettiin samoilla kertoimilla kuin kotitalouden kylmälaitteiden direktiivissä. Koska laitteen energiatehokkuus on suhteessa tilavuuteen, taulukkoihin on laskettu tilavuuden vaikutuksen havainnollistamiseksi kustakin laitetypistä kahta eri tilavuutta vastaavat arvot lukuunottamatta jäähdytyslaitteita, joilla kulutus on luokiteltu jäähdytettävää kiloa kohti. Kuvassa 63 on esitetty jäähdytyslaitteille energiankulutusluokittelu.

ENERGIA TEHO K K U S L U O K I T T E L U
Suurta loud en kylmä laitteet

Vähän kuluttava	Jä äka appi n.400 l (kWh/a)	Jä äka appi n. 900 l (kWh/a)
A	< 970	< 1400
B	970 - 1320	1400 - 2000
C	1320 - 1590	2000 - 2270
D	1590 - 1760	2270 - 2530
E	1760 - 1940	2530 - 2780
F	1940 - 2200	2780 - 3160
G	> 2200	> 3160
Paljon kuluttava		

Kuva 61. Suurta louden jä äka appien energiatehokkuusluokittelu.

ENERGIA TEHO K K U S L U O K I T T E L U
Suurta louden kylmä laitteet

Vähän kuluttava	Pa ka stin n.400 l (kWh/a)	Pa ka stin n. 900 l (kWh/a)
A	< 2070	< 3380
B	2070 - 2820	3380 - 4600
C	2820 - 3380	4600 - 5520
D	3380 - 3750	5520 - 6130
E	3750 - 4130	6130 - 6750
F	4130 - 4690	6750 - 7670
G	> 4690	> 7660
Paljon kuluttava		

Kuva 62. Suurta louden pakastimien energiatehokkuusluokittelu.

ENERGIA TEHO K K U S L U O K I T T E L U
Suurta louden kylmä laitteet

Vähän kuluttava	Jä ähd ytyslaite (kWh/kg,90 min)
A	< 0,05
B	0,05 - 0,07
C	0,07 - 0,08
D	0,08 - 0,09
E	0,09 - 0,10
F	0,10 - 0,11
G	> 0,11
Paljon kuluttava	

Kuva 63. Suurta louden jä ähd ytyslaitteiden energiatehokkuusluokittelu. Jä ähd ytysaika 90 min, lämpötilasta +70 °C:sta +3 °C:een.

4.5 VALAISTUS







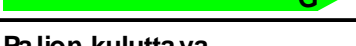
Valaistuksen energiatehokkuudelle toimistorakennuksissa on esitetty luokittelu (Kuva 64), jossa tyypillinen tämän hetken suunnittelukäytännön mukainen suora valonjakotapaa hyödyntävä valaistusratkaisu sijoittuu luokkaan D. Varustamalla loistelamppuvalaisimet perinteisten kuristimien sijasta elektronisilla liitäntälaitteilla siirrytään luokkaan C.

Valaistustulokseltaan paremmilla, suora ja epäsuora valonjakotapaa yhdistävillä valaistusratkaisuilla sijoitutaan samoin tavanomaisissa huonetiloissa luokkiin C ja D käytettävän liitäntälaitteen (elektroninen tai perinteinen) mukaan. Kun huonepintojen heijastuskertoimet valitaan valaistuksen kannalta optimaalisesti (esim. NUTEK:n vaatimukset) ja käytetään energiatehokkaita valonlähteitä, valaisimia ja liitäntälaitteita, saadaan aikaan luokkaan B sijoittuvia valaistusratkaisuja. Kaikkein tehokkaimmat ratkaisut sijoittuvat erittäin heijastavilla katto- ja seinäpinnoilla varustetussa huoneessa luokkaan A.

Luokittelun tehontarvetta vastaava energiankulutus toteutuu toimistojen tyypillisillä valaistuksen käyttöajoilla (2000 h/a), kun valaistuksen säätöratkaisu on perinteinen kello- tai kytkinohjaus. Mikäli huonetilojen valaistuksen säätöön ja ohjaukseen käytetään tätä edistyneisempiä ratkaisuja, voi valaistusratkaisu saavuttaa energiankulutuksen alenemisen ansiosta tehontarvettaan paremman energiatehokkuusluokan. Karkeasti voidaan sanoa, että läsnäolo- tai päivänvalo-ohjauksen toteuttaminen parantaa sijoitusta yhdellä luokalla ja näiden yhdistelmä kahdella luokalla. Ohjausratkaisujen säästövaikutukset riippuvat kuitenkin niin paljon kohteesta, että säästövaikutus tulee jokaisessa tapauksessa arvioida erikseen.

ENERGIA TEHO K K U U S L U O K I T T E L U

Valaistus

Vähän kuluttava	Tehontarve W/m ²	Energiankulutus kWh/m ² ,a
 A	< 7	< 14
 B	7 - 10	14 - 20
 C	10 - 13	20 - 26
 D	13 - 16	26 - 32
 E	16 - 20	32 - 40
 F	20 - 25	40 - 50
 G	> 25	> 50
Paljon kuluttava		

Kuva 64. Valaistuksen energiatehokkuusluokittelu. Toimistorakennus. Luokka D edustaa tyypillistä valaistusratkaisua melko uusissa toimistorakennuksissa








4.6 TOIMISTOLAITTEET

4.6.1 Näytöt

Näyttöjen energiatehokkuutta kuvaa (Kuva 65) luokittelu, jossa luokka D edustaa tyypillistä käytössä olevaa näyttöä. Energy Star -määrittelyjen mukaiset näytöt sijoittuvat B- ja C-luokkiin. Luokkaan A tarvitaan NUTEK-määrittelyjen mukainen näyttö tai erillinen näytönsammutin.

ENERGIA TEHO KUUUSLUOKITTELU

Näytöt

Vähän kuluttava	kWh/”,a
 A	< 5
 B	5 - 10
 C	10 - 15
 D	15 - 17
 E	17 - 20
 F	20 - 23
 G	> 23
Paljon kuluttava	








Kuva 65. Näyttöjen energiatehokkuusluokittelu. Tyypillinen toimistokäyttö. Luokka D edustaa tyypillistä 14" näyttöä ilman energiansäästöominaisuuksia.

4.6.2 Mikrotietokoneet

Erilaisten mikrotietokonekoonpanojen energiatehokkuutta kuvaa luokittelu (Kuva 66), missä luokka D vastaa tyypillistä käytössä olevaa laitetta ilman energiansäästöominaisuuksia. Lähellä Energy Star -määrittelyjen ylärajaa olevalla laitteistolla päästään luokkaan B. Luokkaan A tarvitaan lepotilan kulutukseltaan huomattavasti nykyiset raja-arvot alittavaa laitetta, joita on jo saatavilla.

ENERGIATEHOKKUUSLUOKITTELU

Mikrotietokoneet (PC + näyttö)

	Kannettava tietokone	Tavallinen mikro	CAD- tai DTP-työasema
Vähän kuluttava	kWh/a	kWh/a	kWh/a
 A	< 100	< 300	< 500
 B	100 - 200	300 - 500	500 - 800
 C	200 - 250	500 - 700	800 - 1100
 D	250 - 300	700 - 900	1100 - 1400
 E	300 - 350	900 - 1000	1400 - 1600
 F	350 - 400	1000 - 1200	1600 - 1800
 G	> 400	> 1200	> 1800
Paljon kuluttava			

Kuva 66. Mikrotietokoneiden energiatehokkuusluokittelu. Tyypillinen toimistokäyttö. Luokka D edustaa tyypillistä käytössä olevaa laitetta ilman energiansäästöominaisuuksia.








4.6.3 Kirjoittimet

Kirjoittimien energiatehokkuusluokittelu (Kuva 67) on laadittu riippumattomaksi käytetystä tulostusteknologiasta. Toisin sanoen erityyppisten kirjoittimien (matriisi, mustesuihku ja laser) energiatehokkuusvaatimukset ovat samat. Luokittelun perustana on tyypillinen toimistokäyttö (lähinnä laitteen sammutuskäytäntö) ja keskimääräinen 10 000 sivun vuotuinen tulostusmäärä.

Luokka D edustaa suurinta osaa käytössä olevista laserkirjoittimista, joissa ei ole kehittyneitä energiansäästöominaisuuksia. Luokkaan C sijoittuisivat Energy Star -määrittelyjen ylärajan mukaisesti toteutetut kirjoittimet. Matriisikirjoittimet, joiden energiatehokkuutta ei enää juurikaan pystytä parantamaan, sijoittuvat luokkaan B. Tämän hetken teknologialla toteutetut, selvästi Energy Star -määrittelyjen raja-arvot alittavat laser- ja mustesuihkukirjoittimet sijoittuvat luokkien A ja B rajamaastoon. Lähitulevaisuudessa ennustetaan lepotilan tehotarve voitavan laskea alle 1 W:n, jolloin nämä kirjoittimet sijoittuisivat selvästi luokkaan A.

ENERGIATEHOKKUUSLUOKITTELU

Kirjoittimet

Vähän kuluttava	Wh/sivu
 A	< 5
 B	5 - 10
 C	10 - 20
 D	20 - 30
 E	30 - 35
 F	35 - 40
 G	> 40
Paljon kuluttava	

Kuva 67. Kirjoittimien energiatehokkuusluokittelu. Tyypillinen toimistokäyttö, tulostusmäärä keskimäärin 10 000 sivua vuodessa. Luokka D edustaa tyypillistä laserkirjoitinta ilman energiansäästöominaisuuksia.

4.7 KEITTIÖLAITTEET

Keittiöiden energiatehokkuusluokittelu (Kuva 68) on laadittu ominaiskulutuksiltaan samankaltaisille keittiötyypeille: henkilöstöravintolalle, ylä- ja ala-asteelle, ammattioppilaitokselle sekä kahvilalle ja tienvarsiravintolalle. Ominaiskulutustasoltaan korkeampia keittiöitä vanhainkodeissa sekä ravintoloita ja hotelleja ei voida luokitella näillä perusteilla.

4.8 MUUT KIINTEISTÖJEN KONEET JA LAITTEET

Muiden kiinteistölaitteiden energiatehokkuusluokitteluja ei esitetä, koska yksikäsitteisen palvelun löytäminen erikoislaitteille on hankalaa.

ENERGIA TEHO KKOUSLUOKITTELU

Keittiöt

	Vanhainkoti Ammattioppilaitos Kahvila/tienvarsir.	Ylä-/alaste Henkilöstöravintola	Ravintola tai hotelli
Vähän kuluttava	kWh/annos	kWh/annos	kWh/annos
A	< 0,3	< 0,5	< 1,0
B	0,3 - 0,4	0,5 - 0,6	1,0 - 1,3
C	0,4 - 0,5	0,6 - 0,7	1,3 - 1,5
D	0,5 - 0,6	0,7 - 0,8	1,5 - 1,7
E	0,6 - 0,7	0,8 - 0,9	1,7 - 2,0
F	0,7 - 0,8	0,9 - 1,0	2,0 - 2,5
G	> 0,8	> 1,0	> 2,5
Paljon kuluttava			

Kuva 68. Keittiöiden energiatehokkuusluokittelu eri valmistuskeittiöille. Luokka D edustaa tyypillistä nykylaitteilla toteutettua keittiötä.

4.9 RAKENNUSTASON KULUTUSLUOKITTELU

Seuraavassa on arvioitu määriteltyjen kulutusluokittelujen vaikutusta rakennustason sähkönkulutukseen. Laskelmat tehtiin kuvaamalla tyyppirakennus ja sen sähkölaitekanta.

Toimistorakennuksen laitteille käytetään tässä tutkimuksessa määriteltyjä laitekohtaisia kulutusluokitteluja.

Asuinrakennuksille D-luokan määrittämiseen käytetään lähteen /28/ esittämiä arvioita kotitalouslaitteiden sähkönkulutukselle. Asuinrakennuksien muiden luokittelutasojen määrittely perustuu arvioon mahdollisista säästöpotentiaaleista kussakin laiteryhmissä. Laiteryhmäkulutuksia, joille ei osattu esittää säästöpotentiaaleja, pidettiin vakioina. Tällaisia olivat mm. viihde-elektroniikan, kahvinkeitin ja mikroaaltouunin kulutukset. Viihde-elektroniikan vakiona pitäminen nostaa hieman rakennustason A-luokan rajoja ylöspäin. Osalle kulutuksia arvioitiin tietty vaihteluväli D-luokkaan verrattuna. Vaihteluväli kuvaa oletettujen laiteominaisuuksien vaikutusta. Tehdyissä Sähkölaitosyhdistyksen tutkimuksissa laiteryhmiä mitattujen kulutuksien vaihtelu on ollut noin $\pm 60\%$ /28/, joka sisältää sekä laiteominaisuuksien että kotitalouksittain vaihtelevan käyttöajan vaikutuksen. Tässä oletettiin laiteominaisuuksien osuuden olevan maksimissaan $\pm 20\%$, josta saadaan rajat laiteryhmiä A- ja G-luokille. Osalle kiinteistösähkön kulutuskomponenteista on arvioitu kulutukset lähteen /29/ mukaan.

Liitteissä 4, 5 ja 6 on esitetty laskettujen tyyppirakennusten laitekoonpanot ja palvelujen määrät, kulutukset palvelua kohti sekä laiteryhmien jaotellut kokonaiskulutusjakaumat. Liitteiden 5 ja 6 laskelmissa asuinrakennusten palvelut on esitetty melko yksinkertaisesti laitteiden, asukkaiden tai asuntojen lukumäärinä

tai rakennuskuutioina. Kulutusten laskentaperusteena käytettiin sähkölaitteiden oikeaa käyttöä, koska rakennusluokittelulla haluttiin kuvata rakennuksen järkevää käyttöä. Tuhlaavat käyttötottumukset jätettiin pois laskelmista. Esimerkiksi toimistojen ATK-laitteiden kulutukset laskettiin 8 tunnin työpäivän mukaan. Laskelmissa ei otettu huomioon tyypilliseen toimistokäyttöön liittyvää mahdollista yöaikaista laitteiden päälläoloa. Samoin asuinrakennusten kulutuksissa ei ole mahdollisia sähkölämmittimiä, jotka saattaisivat lisätä kokonaiskulutusta melko paljon.

Kuvassa 69 esitetään tyyppirakennusten sähkönkulutuksien luokittelut. Olemassa olevan rakennuksen sähkönkulutuksen asettuminen johonkin luokkaan ei suoraan kerro rakennuksen sähköenergiatehokkuuden hyvyydestä tai huonoudesta. Tarkempia arvioita tehdessä tulee kulutuksia lähestyä palvelutasolta ja summata näistä rakennuksen sähkönkulutuksen tavoitearvo. Rakennustason kulutusluokittelun tarkoitus on esittää esimerkkejä sähkönkulutuksen muodostumisesta nykypäivän rakennuksille.

ENERGIA TEHO KUUUSLUOKITTELU

Rakennustasolla tyyppirakennuksille (kWh/ra k-kuutio)

Vähän kuluttava	Pientalo	Asuinkeuhstalo	Toimistorakennus
A	< 10	< 10	< 9
B	10 - 11	10 - 11	9 - 12
C	11 - 12	11 - 12	12 - 15
D	12 - 13	12 - 13	15 - 18
E	13 - 15	13 - 15	18 - 22
F	15 - 16	15 - 16	22 - 26
G	> 16	> 16	> 26
Paljon kuluttava			

Kuva 69. Energiatehokkuusluokittelu erityyppisille rakennuksille. Luokittelu osoittaa oletetulla keskimääräisellä laitekannalla rakennuksen kulutuksen. Mikäli laitekanta poikkeaa merkittävästi keskimääräisestä, täytyy tavoitearvo laskea summaamalla palveluiden kulutuksista. Esimerkiksi pientalojen D-luokan kulutukset laskettuna oletetulle laitekannalle muodostuvat pienemmiksi kuin tilastolliset kulutukset. Nykyisten pientalojen tilastoidut keskimääräiset kulutukset asettuvat luokkaan F eli pientaloissa käytetään myös sellaisia laitteita, joita tässä määrittelyssä ei ole mukana.

5 SÄHKÖKUORMIEN VAIKUTUS RAKENNUKSEN LÄMMITYKSEEN

5.1 SÄHKÖKUORMIEN VAIKUTUS LÄMMITYSTEHDON MITOITUKSEEN

Toimistorakennukset

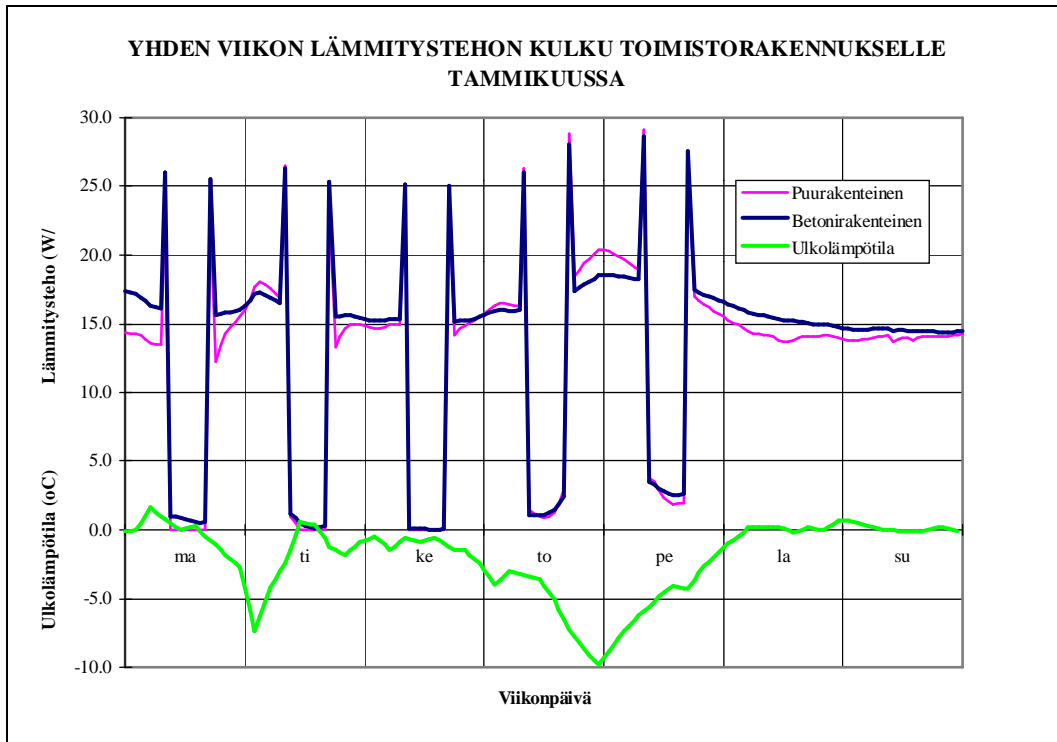
Sisäisten lämpökuormien vaikutusta lämmitystehontarpeeseen tarkasteltiin simuloimalla toimistorakennuksen tilojen lämmitystarvetta testivuoden 1979 säätie-doilla. Laskelmissa ei ollut mukana lämpimän käyttöveden osuutta. Mitoitustehoksi valittiin suurin lämmitysteho tammi-helmikuulta. Rakenteiden dynamiikan varioimiseksi laskelmat tehtiin rakenteiltaan raskaalle sekä kevyelle rakennukselle. Raskas rakennus oli betonirakenteinen ja kevyt puurakenteinen.

Sähkätehoista voitiin hyödyntää toimistorakennuksissa lämmitystehon mitoitus-sessa enimmillään noin 6 %:a (Taulukko 21). Kevyessä rakennuksessa kuormilla ei ollut mitään vaikutusta tehomitoitukseen. Raskaassa rakennuksessa kuormat pie-mentävät hieman mitoitus-tehoa. Kuormien vaikutusta ei voitu havaita, koska toi-mistorakennusten lämmitystehontarpeen maksimi on yleensä aamulla tai illalla ulkolämpötilan mukaan. Aamun ja illan päiväaikaan verrattuna suuremmat tehon-tarpeet johtuivat ilmanvaihdon käytöstä. Tällöin hyödynnettävää ilmaistehoa ei ollut käytettävissä (Kuva 70). IV-koneen käyntiaika oli laskelmissa klo 7 - 17. Va-laistus ja ATK-laitteet olivat käytössä klo 8 - 16.

Taulukko 21. Sisäisten kuormien (ATK, valaistus) vaikutus lämmitystehon mitoi-tukseen toimistorakennuksessa.

Sähkökuormat (ATK, valaistus) (W/m ²)	Lämmityksen mitoi- tusteho (W/m ²)		Tehoista hyödynnettävä osuus (%)	
	Kevyt ra- kenne	Raskas ra- kenne	Kevyt ra- kenne	Raskas ra- kenne
0	54,4	51,8	0	0
23	54,4	51,8	0	0
43	54,4	49,2	0	6

Mikäli sähkökuormat olisivat samanaikaisia lämmöntarpeen kanssa, olisi sähkö- ja lämpötehon välinen riippuvuus mitoituksessa huomattavasti selkeämpi. Kuvasta 70 voidaan havaita, että sähkökuormat pienentävät huomattavasti lämmitystehoa arkipäiväaikaan, jolloin pienillä pakkasilla rakennus lämpenee pelkästään ilmaiskuormilla.



Kuva 70. Esimerkki lämmitystehon viikottaisesta käyttäytymisestä puu- ja betonirakenteisessa toimistorakennuksessa. Työajan ulkopuolinen IV-koneiden käyttö näkyy tehontarpeen nousuna arkipäivien aamuisin ja iltaisin, kun ilmaislämpöjä ei ole hyödynnettävissä. Päiväaikana valaistuksen ja ATK-laitteiden ilmaislämmöt pienentävät lämmitystehontarvetta. Esimerkiksi keskiviikkona, kun $T_u = -2 \text{ } ^\circ\text{C}$, ei päiväaikana tarvita lämmitystä ollenkaan, vaan rakennus lämpenee ilmaiskuormilla.

Asuinrakennukset

Asuinrakennusten sähkökuormitustaso on pienempi kuin toimistojen. Lisäksi asumisen sähkölaitteiden käyttö ei ole tasaista eri vuorokauden aikoina. Sähkölaitteiden käyttö painottuu pääasiassa illan tunneille ja jonkin verran myös aamun tunneille. Muuna aikana vuorokaudesta tehotasot ovat melko pienet. Laittekuormien pienten tehotasojen ja tehojen epätasaisen vuorokautisen jakautumisen vuoksi asumisen sähkönkäyttöä ei voi hyödyntää tilojen lämmitystehon mitoituksessa.

Asuinrakennuksissa sähkökuormien hyödyntäminen lämmitystehon mitoituksessa on yhtä ongelmallinen kuin toimistorakennuksissakin. Asuinrakennusten IV-koneet ovat yleensä jatkuvasti käytössä, jolloin tilojen lämmitystehontarpeeseen vaikuttaa vain ulkolämpötila. Lämmitystehontarpeen maksimi esiintyy kuitenkin todennäköisimmin yöllä, kun ulkolämpötila on alhaisimmillaan, jolloin asumisen sähkökuormat eivät ole käytettävissä.

5.2 SÄHKÖKUORMIEN VAIKUTUS LÄMMITYSENERGIAN KULUTUKSEEN

Sähkökuormien vaikutusta rakennusten lämmitykseen tarkastellaan tässä laskennallisesti sekä tilastollisesti. Laskennalliset ja tilastolliset analyysit tehtiin sekä toimistorakennuksille että asuinkerrostaloille.

Rakennuksen sähkölaitteista hyödyksi saatavan lämpöenergian osuus sähköenergiankulutuksesta on arvioitava rakennuskohtaisesti. Yleensä voidaan olettaa valaistuksen, atk-laitteiden, muiden toimistolaitteiden sekä tuloilmapuhaltimien sähköenergian muuttuvan kokonaan hyödynnettäväksi lämpöenergiaksi. Sähkölaitteista vapautuvaa lämpöenergiaa rakennuksessa kutsutaan vastaisuudessa sähkökuormaksi. Lämpöenergiaa saadaan hyödyksi lisäksi ikkunoiden kautta tulevasta auringonsäteilystä, ihmisistä ja osittain lämpimästä käyttövedestä.

5.2.1 Laskennallinen sähkökuormien hyväksikäyttöaste

Rakennuksen sähkökuorman vaikutus lämmitystarpeeseen lasketaan käyttäen lämpökuorman hyväksikäyttöastetta.

Lämpökuorman hyväksikäyttöaste

Lämpökuorman hyväksikäyttöaste tarkoittaa rakennuksen lämmityksessä hyväksikäytettyä osuutta lämpökuormasta. Lämpökuorma voidaan laskea hyväksikäytetyksi, kun lämmitysjärjestelmän luovuttama lämpömäärä on vähentynyt vastaavalla määrällä.

Hyväksikäyttöaste esitetään tietylle ajanjaksolle, joka on tyypillisesti vuosi, lämmityskausi tai kuukausi. Tässä raportissa on valittu ajanjaksoksi lämmityskausi.

Lämmityskauden hyväksikäyttöaste riippuu pääosin

- ideaalisesta hyväksikäyttöasteesta η_r
- säätöjärjestelmän hyvyydestä. Suomen rakentamismääräyskokoelman (SRMK):n D5 osassa on säätöjärjestelmän hyvyys huomioitu kertoimella η_s , joka vaihtelee eri säätöjärjestelmien kesken.

Lämmitystarpeen laskennassa käytettävä hyväksikäyttöaste η lasketaan kaavan (6) mukaisesti.

$$\eta = \eta_r \eta_s, \quad (6)$$

jossa

η_r on ideaalinen hyväksikäyttöaste

η_s on säätöjärjestelmän hyväksikäyttöaste

Ideaalinen hyväksikäyttöaste

Lämpökuorman ollessa suurempi kuin yhteenlasketut lämpöhäviöt, voidaan hyödyntää vain osa lämpökuormasta. Enintään hyödynnettävissä olevaa osuutta lämpökuormasta tietyinä ajanjaksona kutsutaan ideaaliseksi hyväksikäyttöasteeksi (η_r , arvo 0-1). Lämpöhäviöitä, joita lämpökuormilla voidaan kompensoida ovat

- johtuminen vaipan läpi
- vaipan kautta tulevan korvausilman lämmittäminen
- koneellisen ilmanvaihdon tuloilman lämmittämiseen tarvittava energia siltä osin, mitä kuluu alilämpöisen sisäänpuhallusilman lämmittämiseen huonelämpötilaan.

Laskettaessa lämmityskauden ideaalista hyväksikäyttöastetta riittää useimmiten kuukauden laskentajakso, jolloin verrataan kuukauden yhteenlaskettua lämpökuormaa lämpöhäviöihin. Tällöin ei kuitenkaan huomioida vuorokauden lämpökuorman epätasaista jakautumista vuorokaudelle, nk. kuormaprofiilia. Suurempi lämpökuorma kuin lämpöhäviö esiintyy käytännössä keväällä ja syksyllä päiväsaikaan.

Eurooppalainen CEN-standardissa /27/ esitetään ideaalisen hyväksikäyttöasteen laskenta kuukauden ajanjaksolle. Laskennassa otetaan huomioon kuormien ja häviöiden jakautuminen vuorokaudelle sekä rakennuksen lämpökapasiteetin vaikutus lämpökuorman hyväksikäyttöön. Lämpökapasiteetti kuvaa rakennuksen lämmönvarauskykyä eli kykyä tasata päivän ja yön välistä eroa lämpökuormissa.

Ideaalinen hyväksikäyttöaste η_{kk} kuukausitason laskennassa lämpökuorman ja lämpöhäviön suhteen funktiona eri rakennuksen aikavakioille on esitetty kuvassa 71. Betonirakenteisen rakennuksen aikavakio on noin 2 - 3 vuorokautta. Kevyemmälle puurakenteiselle rakennukselle aikavakio on noin 1 vrk.

Säätöjärjestelmän hyvyys

Säätöjärjestelmä vaikuttaa olennaisesti hyväksikäyttöasteeseen vähentämällä lämmitysjärjestelmästä tulevaa lämmitystehoa, kun lämpökuormia esiintyy. Säätöjärjestelmän hyvyys toisin sanoen kuvaa kuinka hyvin säätöjärjestelmä pitää huonelämpötilan asetusarvossaan. Suomen rakentamismääräyskokoelman (SRMK):n D5 osassa on säätöjärjestelmän hyvyttä huomioitu kertoimella η_s , joka vaihtelee eri säätöjärjestelmien kesken. Tämän raportin laskelmissa on huomioitu säätöjärjestelmän hyvyttä kertoimella $\eta_s = 0,8$.

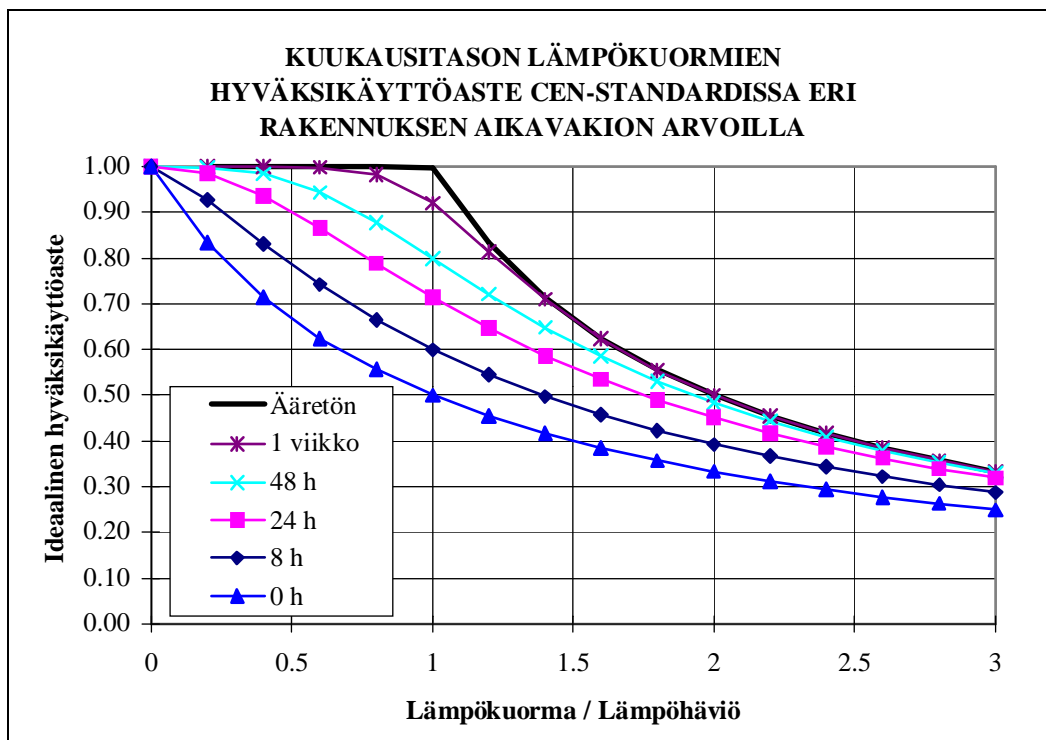
Lämmityskaudella hyväksikäytetty osuus lämpökuormasta

Lämmityskauden hyväksikäytetty osuus lämpökuormasta Q_{hyv} on laskettu käyttäen kuvaa 71 ja kaavaa 7. Kuvasta 71 saadaan kunkin laskentakuukauden ideaalinen lämpökuormien hyväksikäyttöaste η_{kk} , kun laskentakuukauden lämpökuormien ja lämpöhäviöiden suhde tunnetaan.

$$Q_{\text{hyv}} = \eta * Q_{\text{kuorma}} = \left(\sum_{i=\text{kuukausi}}^{\text{syys-toukokuu}} (\eta_{\text{kk}} * \eta_s * Q_{\text{kuorma},i}) \right) \quad (7)$$

missä

- Q_{kuorma} on lämmityskauden lämpökuorma
- η on lämmityskauden lämpökuormien hyväksikäyttöaste
- $Q_{\text{kuorma},i}$ on kuukauden lämpökuorma
- η_{kk} on laskentakaukauten ideaalinen lämpökuormien hyväksikäyttöaste (Kuvasta 71)
- η_s on säätöjärjestelmän hyväksikäyttöaste.

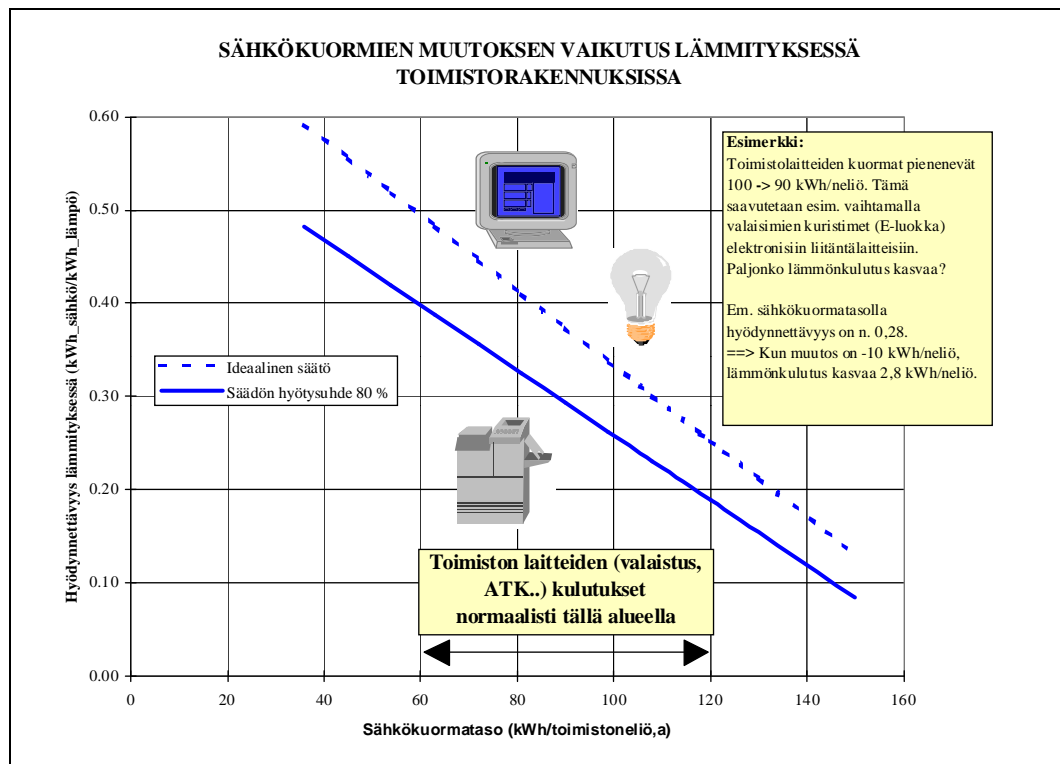


Kuva 71. Ideaalinen lämpökuormien hyväksikäyttöaste eri aikavakioilla kuukausitason laskennassa CEN-standardin mukaan [27]. Betonirakenteisen rakennuksen aikavakio on noin 2 - 3 vrk ja puurakenteisen noin 1 vrk.

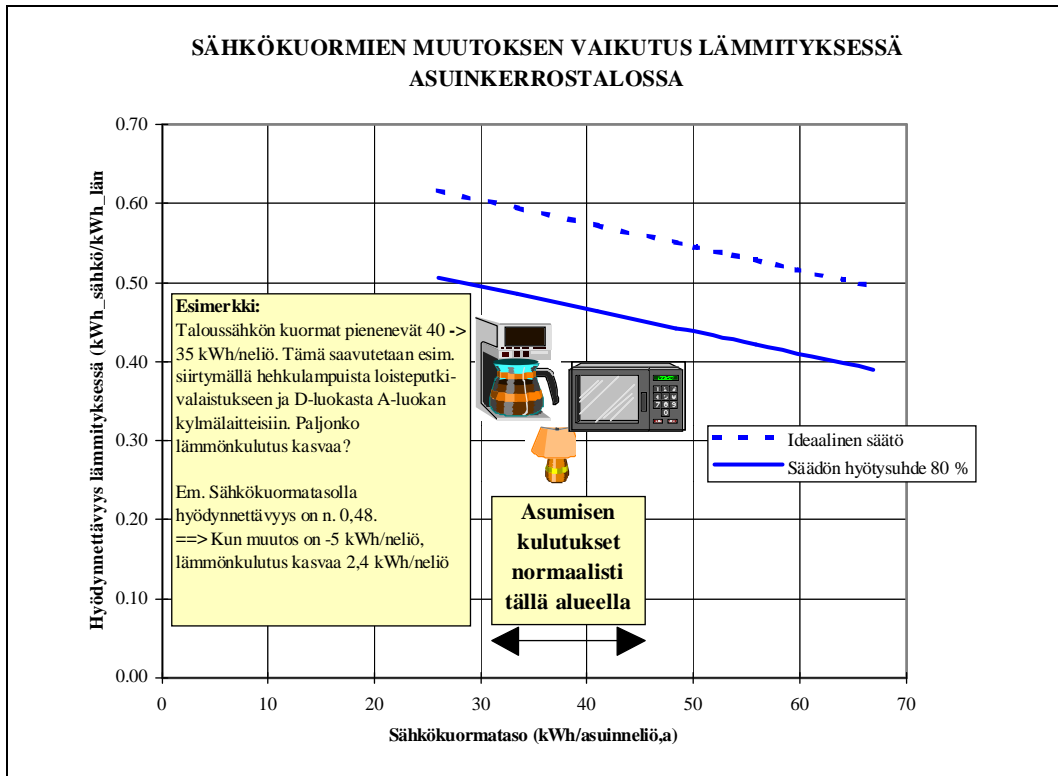
Sähkökuormien hyödynnettävyys eri rakennustyypeissä

Seuraavassa on laskettu nykyisen rakentamistavan mukaisille asuinkerrostalolle ja toimistorakennukselle sähkölaitteiden lämpökuormien hyödynnettävyys lämmityksessä. Laskelmat on tehty kullekin tyyppirakennuksille käyttäen kuukausitason laskentaa ja CEN-standardin laskentamenetelmää ideaaliselle hyväksikäyttöasteelle. Koska CEN:n laskentamenetelmä on esitetty asuinrakennuksille, tarkastettiin sen sopivuus toimistorakennuksen laskennassa (Liite 2). Koska sähkökuormien hyödynnettävyyteen lämmityksessä vaikuttaa tilan kuormitustaso, on sähkökuormien hyödynnettävyys annettu kuormitustason funktiona. Laskelmissa käytettiin säätöjärjestelmän hyötysuhteena 80 %:a.

Kuvassa 72 on esitetty sähkölaitteista vapautuvien lämpökuormien hyödynnettävyys lämmityksessä toimistorakennuksille ja kuvassa 73 asuinkerrostalolle. Kuviin on merkitty myös ideaalisella säätöjärjestelmällä saavutettava sähkökuormien hyödynnettävyys. Ideaalisen säätöjärjestelmän antama hyödyntämiskerroin on ehdoton maksimi. Käytännön järjestelmissä hyödyntämiskerroin on aina huonompi kuin ideaalisella säädöllä.



Kuva 72. Sähkökuormien muutoksen vaikutus lämmityksessä toimistorakennuksissa, kun tiedetään lähtökuormitustaso. Toimistojen laitteiden kuormitukset ovat tyypillisesti välillä 40-100 kWh/toimisto- m^2 , a.



Kuva 73. Sähkökuormien muutoksen hyödynnettävyys asuinrakennuksissa, kun tiedetään lähtökuormitustaso. Asuinrakennusten laitteiden kuormitukset ovat tyypillisesti välillä 30-45 kWh/asuin-m²,a.

Kuvista voidaan havaita, että nykypäivän rakennuksille laskennallinen sähkökuormien hyödynnettävyys lämmityksessä on asuinrakennuksille noin 0,45 - 0,50 kWh_{lämpö}/kWh_{sähkö} toimistorakennuksille noin 0,25 - 0,45 kWh_{lämpö}/kWh_{sähkö}, kun säätöjärjestelmän hyötysuhde on 80 %. Asuinrakennukset poikkeavat kuormitustasoltaan toimistorakennuksista, jolloin sähkön hyödyntämiskertoimet eivät ole samansuuruisia.

On huomattava, että kokonaissähkönkulutus sisältää myös komponentteja, jotka eivät ole hyödynnettävissä lämmityksessä. Tällaisia ovat mm. autopaikkojen, ulkovalaistuksen ym. kulutukset. Samoin asuinrakennusten taloussähkönkulutuksesta ei kaikki energia ole käytettävissä lämmitykseen. Esimerkiksi astian- ja pyykinpesukoneiden energiasta osa menee viemäriin veden mukana. Analyysjä tehdessä täytyy ensin määrittää mahdollisen hyödynnettävän energian osuus laitteiden tai laiteryhmiä kulutuksista

5.2.2 Tilastollinen hyväksikäyttöaste kulutustiedoissa

Sähkönkäytön vaikutusta lämmönkulutukseen tarkasteltiin myös tilastollisella analyysillä, jossa kunkin kiinteistöryhmän toteutuneista vuosikulutuksista pyrittiin löytämään riippuvuus lämmön- ja sähkönkulutuksen välille /38/, /39/. Analyysissä oli mukana sekä toimistorakennuksia että asuinkerrostaloja. Tarkasteluajanjaksona käytettiin asuinrakennuksissa v. 1992-94 ja toimistorakennuksissa v. 1987-94. Tietoja käytetystä otannasta on esitetty taulukossa 22.

Taulukko 22. Tilastollisessa tarkasteluissa käytettyjen rakennusten tiedot.

	Asuinkerrostalot	Toimistorakennukset
Kiinteistöjen lukumäärä (kpl)	59	26
Sähkö yhteensä keskimäärin (GWh/a)	12,6	42,5
Lämpö yhteensä keskimäärin (GWh/a)	51,2	38,8
Rak.tilavuus yhteensä (m ³)	1 025 000	1 360 922

Toimistorakennukset

Tilastollisissa analyyseissä havaittiin, että käytetyn otannan toimistorakennuksista suurin osa käyttäytyy teorian mukaisesti eli lisääntynyt sähkönkulutus pienentää lämmönkulutusta ja päinvastoin. Joissain tapauksissa rakennuksissa oli tehty toiminnallisia muutoksia, jolloin sekä sähkön- että lämmönkulutus kasvoivat samanaikaisesti. Keskimäärin sähkökuormien hyväksikäyttöaste lämmityksessä vaihteli toimistorakennusten otantaryhmässä 0,22-0,76 kWh_{lämpö}/kWh_{sähkö}.

Asuinkerrostalot

Asuinrakennusten osalta sähkön- ja lämmönkulutuksen välinen riippuvuus ei ollut yhtä selkeä huonon tilastollisen korrelaation vuoksi. Asuinrakennusten korjatun otannan sähkökuormien hyväksikäyttöaste oli noin 0,54 kWh_{lämpö}/kWh_{sähkö}. Tulokseen täytyy kuitenkin suhtautua erittäin varauksellisesti (selitysaste oli huono $r^2 = 0,017$). Osasyynä tähän voi olla tarkasteluajanjakso (1992-94), jolloin kiinteistöissä on yleisesti tehty energiansäästötoimenpiteitä. Tällöin tilastollisella tarkastelulla ei voida löytää sähkön ja lämmön välistä riippuvuutta.

Analyysejä

Tilastolliset tarkastelut ovat hyvin herkkiä rakennuksen käyttöön liittyviin muutoksiin. Kun pyritään analysoimaan lämmönkulutuksen muutoksia pelkästään sähkönkulutuksen muutosten avulla, jää kiinteistöistä aina jotain informaatiota selvittämättä.

Tilastollisia tarkasteluja sotkevat mm. seuraavat tekijät:

- Tarkasteluajanjakson aikaiset käytön muutokset (esim. osa tiloista alussa tyhjiin ja myöhemmin ne otetaan käyttöön, iltakäyttö lisääntyy jne.)
- Henkilömäärän muuttuminen toimistorakennuksissa (Henkilömäärän kasvusta seuraa IV:n, PC-laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutuksen sekä lämpimän käyttöveden ja IV:n lämmönkulutuksen kasvu, joka sekoittaa tilastollisia tarkasteluja. Lisäksi lisääntynyt henkilökunta tuo oman ilmaislämpönsä rakennuksen energiataaseeseen)
- Tarkasteluajanjakson aikaiset saneeraukset, jolloin koko energiankulutus muuttuu.
- Asuinrakennuksissa sähkönkulutus on pieni verrattuna lämmönkulutukseen (pienetkin lämmönkulutuksen muutokset ovat suuria verrattuna sähkönkulutukseen). Lisäksi lämpimän käyttöveden osuus lämpöenergiankulutuksesta on merkittävä.
- Käyttäjien energiaa tuhlaavat tottumukset ovat mukana tilastollisissa analyysissä, kun taas laskelmat olettavat rakennusta käytettävän aina ideaalisesti. Asumisessa tuhlaavat tottumukset heikentävät tilastollista analyysia, koska perheissä, joissa tuhlaataan lämpöä tuhlaataan myös sähköä.

5.2.3 Sähkökuormien vaikutus eri ikäisissä rakennuksissa

Eri ikäisten rakennusten rakenteellisten ominaisuuksien vaikutusta sähkökuormien hyödyntämiseen on havainnollistettu seuraavalla toimistorakennusten esimerkkilaskelmalla. Tässä luvussa on graafisesti esitetty kolmen eri ikäisen toimistorakennuksen lämmitystarpeen riippuvuutta sähkökuormasta.

Lämmitystarpeen laskenta on suoritettu Suomen rakentamismääräyskokoelman D5:ttä noudattaen. Lämmityskauden lämpökuorman hyväksikäyttöasteen arvioimiseen on käytetty CEN:n standardeja. Lämmitystarve on laskettu lämmityskaudelle olettaen, että esimerkkirakennusten lämmitysjärjestelmät ovat poissa käytöstä kesä- elokuun välisenä aikana.

Laskennan lähtöarvot

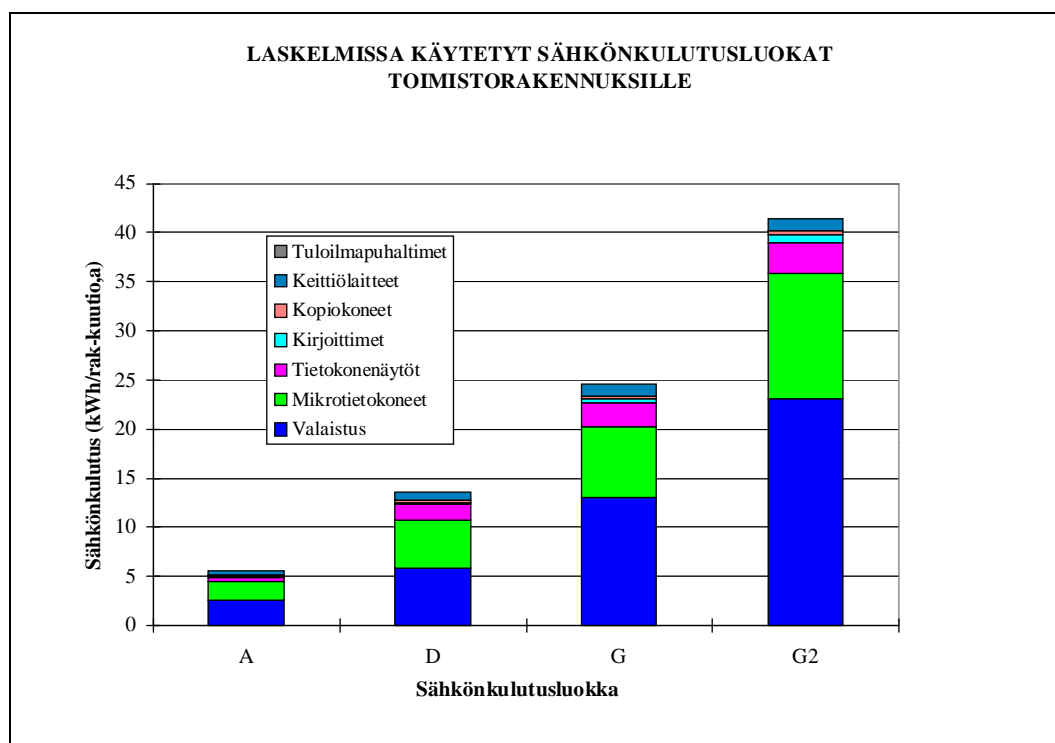
Tarkastelua varten on valittu kolme esimerkkitoimistorakennusta. Rakennukset edustavat kolmea eri lämmönkulutustasoa: nykyistä, vanhaa ja ennustettua rakennusnormia vastaavaa tasoa. Rakennukset poikkeavat toisistaan ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhteen sekä ikkunoiden ja vaipan lämmöneristyksen osalta taulukon 23 mukaisesti. Muilta osin rakennukset ovat identtisiä.

Taulukko 23. Laskelmissa käytettyjen toimistorakennusten lämpöteknisten ominaisuuksien kuvaus.

Ominaisuus	Rakennusnormia vastaava lämmönkulutustaso		
	Nykyinen rakennusnormi	Vanha rakennusnormi	Ennustettu rakennusnormi
Ikkunoiden U-arvo	2,0	3,0	0,6
Ulkoseinän U-arvo	0,28	0,50	0,16
Yläpohjan U-arvo	0,18	0,30	0,11
Alapohjan U-arvo	0,24	0,45	0,13
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde	50%	0%	75%

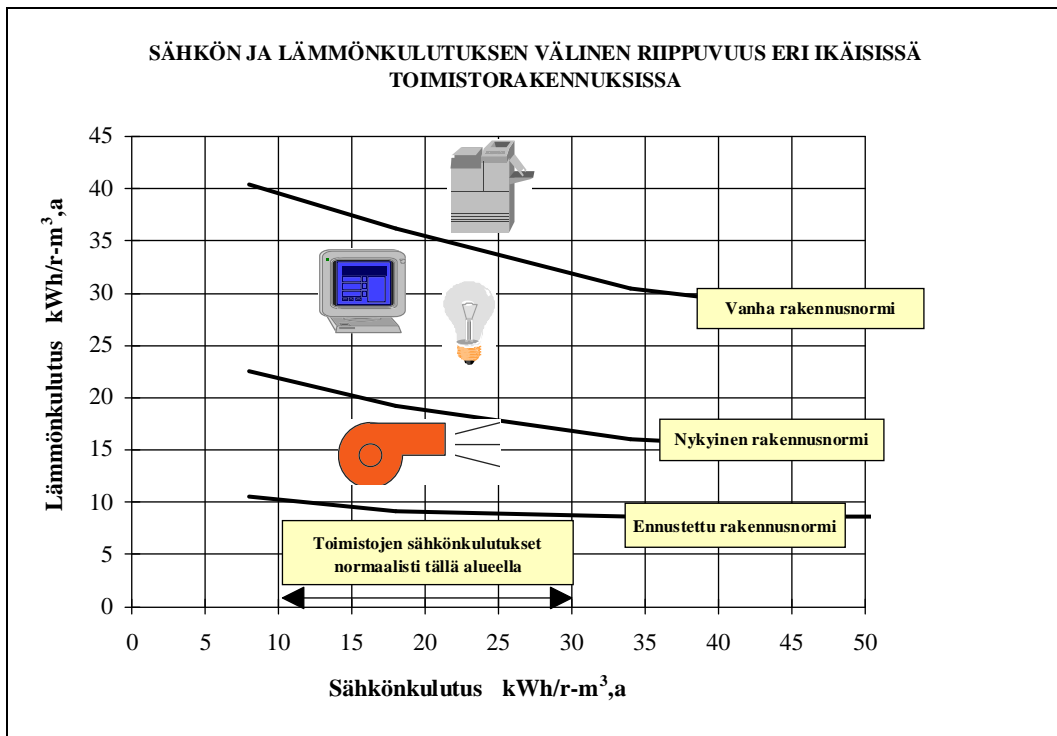
Esimerkkirakennusten sähkökuorma on laskettu luvun 4 luokittelun mukaisesti. Sähkökuorma saadaan laskemalla yhteen vain niiden sähkölaiteryhmien kulutukset, joiden aiheuttama lämpökuorma on hyödynnettävissä rakennusten lämmityksessä.

Kuvassa 74 on esitetty kolmen kulutusluokan (A, D ja G) mukaisilla ominaiskuluksilla lasketut sähkökuormat eri laiteryhmillä eriteltyinä. Kuvan G2 pylväs on laskettu käyttäen G-luokan ominaiskuluksia, mutta G pylvästä suuremmilla palvelujen määrillä.



Kuva 74. Esimerkilaskelmissa käytetyt sähkökuormitustasot toimistorakennuksissa.

Kuva 75 esittää sähkölaitteiden kuormien vaikutusta erikäisten rakennusten lämmitystarpeeseen eli ts. sähkökuorman muutoksen vaikutuksia lämmityskauden lämmitystarpeeseen, kun muut lämpökuormat pysyvät muuttumattomina.



Kuva 75. Vuotuisen sähkökuorman vaikutus lämmitystarpeeseen kolmessa esimerkkitoimistorakennuksessa, jotka edustavat entistä, nykyistä ja ennustettua rakenteiden lämpöeristystasoa ja ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhdetta.

Kuvasta havaitaan, kuinka vanhassa rakennuksessa, jossa lämpöhäviöt rakennusvaipan ja ilmanvaihdon kautta ovat suuret, on sähkökuorman vaikutus lämmitystarpeeseen suurin. Ennustetussa rakennuksessa sähkökuormasta saadaan selvästi vähemmän hyödyksi. Kun sähkökulutus on suurempi kuin 20 kWh/m³,a, ei sähkökulutuksen kasvu pienennä enää lämmönkulutusta ennustetussa rakennuksessa. Lisäksi havaitaan, kuinka sähkökuorman hyväksikäyttö pienenee sähkökuorman lisääntyessä. Sähkökuorman muutoksen vaikutus lämmitystarpeeseen riippuu siis vallitsevasta sähkökuormasta ja myös muista lämpökuormista.

6 SÄHKÖKUORMIEN VAIKUTUS RAKENNUKSEN JÄÄHDYTYKSEEN

Sähkökuormien välilliset vaikutukset rakennusten jäähdytyksen sähköenergiankulutukseen ovat erityisen merkittäviä kokonaissähkökulutuksen kannalta, koska sähkölaitteiden lämpökuormien vaikutus on päinvastainen kuin lämmityksessä. Lämmityksessä lisääntynyt sähkölaitteiden käyttö pienentää lämmityksen energiankäyttöä eli osa laitekuormasta voidaan hyödyntää. Jäähdytyksessä lisääntynyt sähkölaittekuorma lisää välillisesti sähkökulutusta, josta aiheutuu vain lisäkustannuksia kiinteistöille.

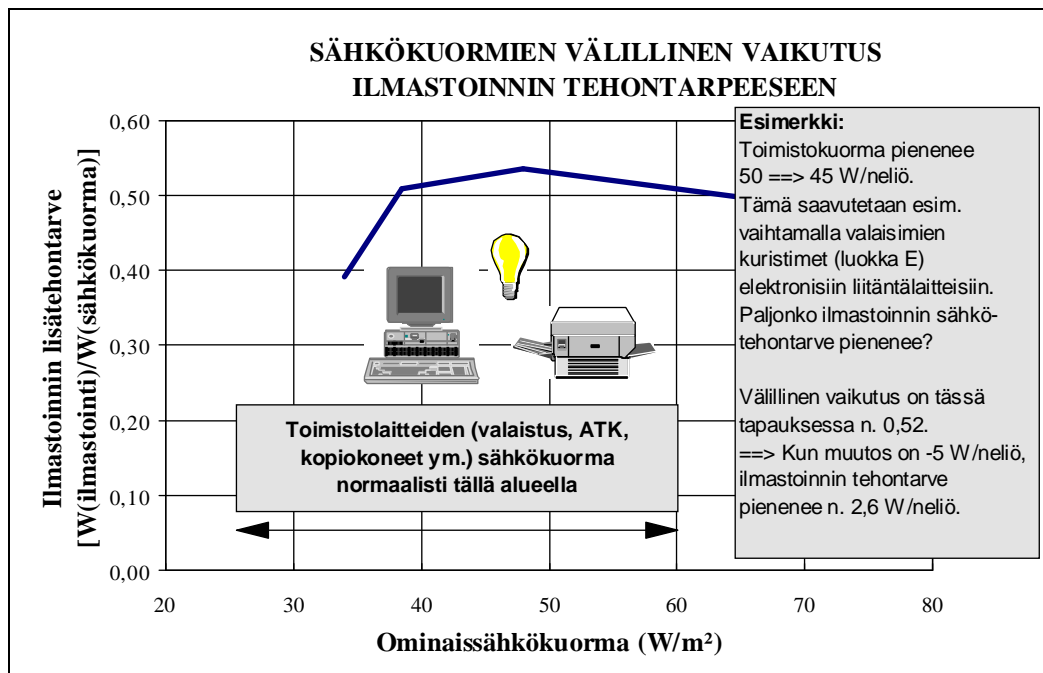
6.1 SÄHKÖKUORMIEN VAIKUTUS JÄÄHDYTYSTEHDON MITOITUKSEEN

Sähkökuormien vaikutusta rakennusten jäähdytyksen mitoitukseen tarkastellaan seuraavassa laskennallisesti. Laiteryhmistä on erikseen tarkasteltu ns. toimistolaitteita, joihin voidaan tässä yhteydessä sisällyttää kaikki toimistotiloissa työaikana käytettävät sähkölaitteet. Keittiöt poikkeavat muista tiloista hyvin suurten lämpökuormien sekä niiden muista tiloista eroavien poistomahdollisuuksien osalta, joten ne on tarkasteltu erikseen. Jäähdytyksen mitoitusta on tarkasteltu tarvittavan jäähdytysvaikutuksen tuottamiseen tarvittavien laitteiden sähkötehtotarpeen, ei tuotetun jäähdytystehon, avulla. Jäähdytyksen sähkötehtotarve sisältää siis sekä puhaltimien että vedenjäähdyttimen kompressorin sähkötehtotarpeen.

6.1.1 Toimistolaitteet

Toimistotiloissa työaikana käytettävien sähkölaitteiden lämpökuorman välillinen vaikutus jäähdytyksen sähkötehtotarpeeseen erilaisilla sähkökuormituksilla on esitetty kuvassa 76.

Tyypillisillä toimistokuormituksilla välillinen vaikutus on noin 50 %, kun ilmastointijärjestelmänä on vakioilmavirtajärjestelmä. Toisin sanoen jokainen watti lisää toimistolaitekuormaa edellyttää 0,5 wattia lisää sähkötehoa ilmastointilaitteisiin (puhaltimiin ja vedenjäähdyttimiin), jotta sisäolosuhteet säilyisivät ennallaan. Muussa tapauksessa lämpötila huoneissa pyrkisi nousemaan suunniteltua korkeammaksi.

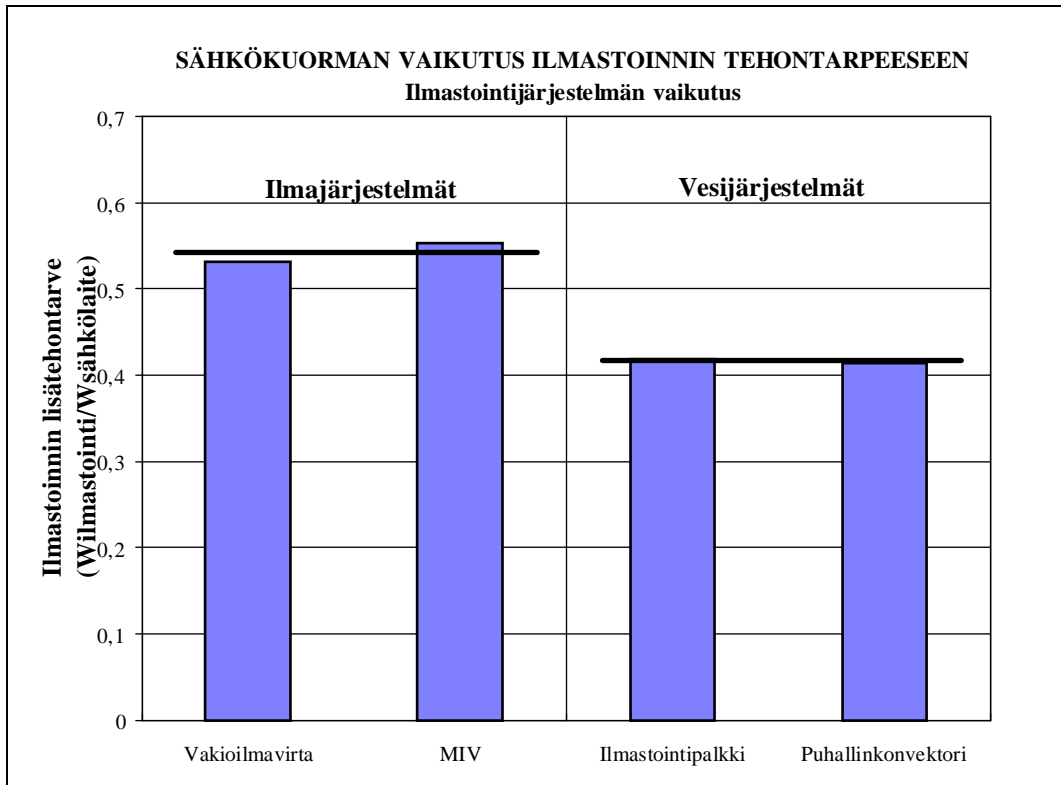


Kuva 76. Toimistojen sähkökuormien välillinen vaikutus ilmastoinnin sähkötehontarpeeseen erilaisilla sähkökuormatasoilla (valaistus+ATK-laitteet), kun ilmastointijärjestelmänä on vakioilmavirta varustettuna tuloilman koneellisella jäähdytyksellä.

Ilmastointijärjestelmän vaikutus

Valitun ilmastointijärjestelmän vaikutusta jäähdytyksen sähkötehontarpeeseen tutkittiin mitoittamalla toimiston ilmastointilaitteet neljällä toimistoissa yleisesti käytetyllä ilmastointijärjestelmällä. Puolet järjestelmistä voidaan luokitella kuuluviksi ilmajärjestelmiin (jäähdytys tuloilman välityksellä) ja puolet vesijärjestelmiin (pääosa jäähdytyksestä vesikiertoisten huonelaitteiden välityksellä):

- Ilmajärjestelmät:
 - vakioilmavirtajärjestelmä
 - MIV, muuttuvaimavirtajärjestelmä
- Vesijärjestelmät:
 - ilmastointipalkkijärjestelmä
 - puhallinkonvektorijärjestelmä.



Kuva 77. Toimistojen sähkölaitekuorman välilliset vaikutukset ilmastoinnin sähkötehontarpeeseen ilmastointijärjestelmätyypeittäin. Ilmastoinnin sähkötehontarve sisältää puhaltimet ja vedenjäähdyttimen kompressorin.

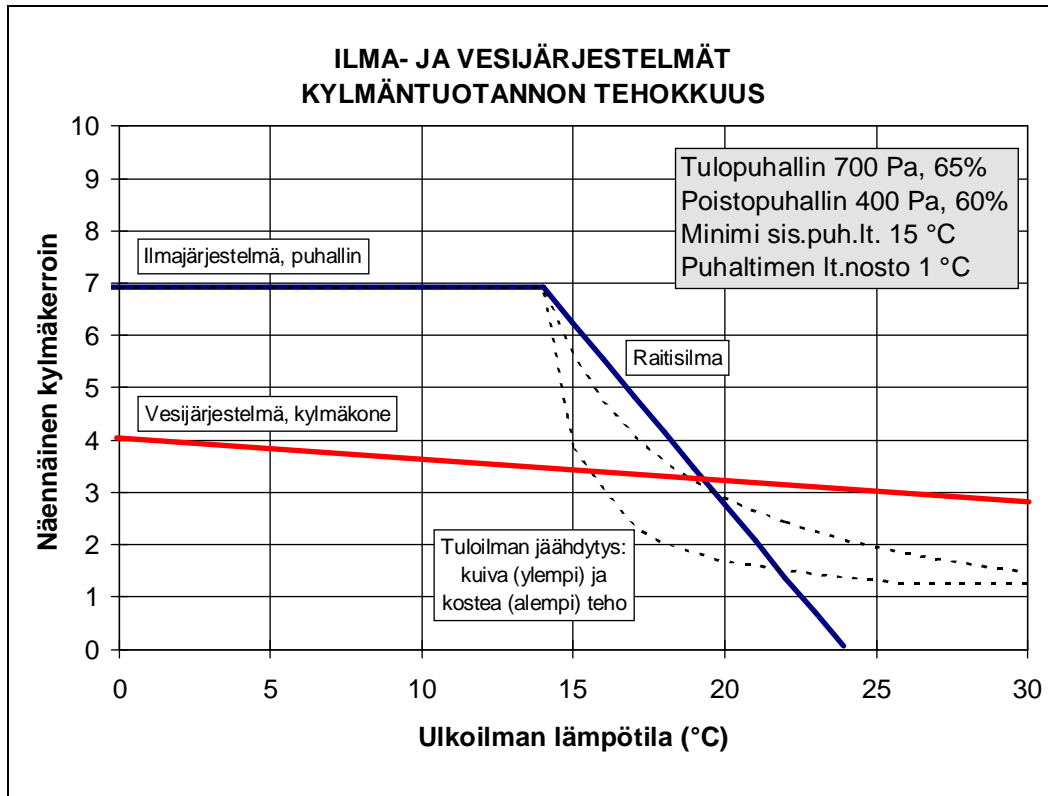
Toimistolaitteiden sähkökuorman välillinen vaikutus jäähdytyksen sähkötehontarpeeseen (Kuva 77) voidaan ryhmitellä sen mukaan, kuuluuko valittu ilmastointijärjestelmä ilma- vai vesijärjestelmiin. Toimistoissa tyypillisillä lämpökuormilla vaikutus on seuraava:

- Ilmajärjestelmät $0,54 W_{\text{ilmastointi}}/W_{\text{sähkölaite}}$
- Vesijärjestelmät $0,42 W_{\text{ilmastointi}}/W_{\text{sähkölaite}}$.

Ero ilma- ja vesijärjestelmien välillä johtuu siitä, että jäähdytystehon mitoituspiisteessä (= lämmin ja kostea kesäpäivä) vesijärjestelmällä voidaan tuottaa jäähdytysenergiaa selvästi tehokkaammin kuin ilmajärjestelmillä.

Kuvassa 78 ilma- ja vesijärjestelmien kylmäntuotannon tehokkuutta on havainnollistettu erilaisilla ulkolämpötiloilla. Ns. näennäinen kylmäkerroin on määritelty huoneisiin siirretyn jäähdytysenergian ja sen tuottamiseen tarvittavan sähköenergian suhteena. Toisin sanoen mitä suurempi näennäisen kylmäkerroimen arvo on sitä vähemmän sähköenergiaa kuluu jäähdytykseen.

Kuvan esimerkitapauksessa jäähdytys on ilmajärjestelmällä tehokkaampaa, kun ulkoilman lämpötila on alle 16 °C kostealla säällä tai alle 18 °C kuivalla säällä. Tätä lämpimämmässä tai kosteammassa olosuhteissa jäähdytys on tehokkaampaa vesijärjestelmillä.



Kuva 78. Ilma- ja vesijärjestelmien kylmäntuotannon tehokkuuden vertailu erilaisilla ulkoilman lämpötiloilla.

6.1.2 Keittiölaitteet

Keittiöiden lämpökuormat ovat muihin tiloihin verrattuna hyvin suuret, joten myös ilmastoinnissa tarvittavat ilmavirrat muodostuvat suuriksi. Rakentamismääräysten mukainen minimi-ilmavirta on valmistuskeittiöissä $15 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$, lämmityskeittiöissä $10 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$ ja jakelukeittiöissä $6 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$, mikä ei useinkaan riitä kompensoimaan laitteiden lämpökuormia. Viihtyisien sisäolosuhteiden saavuttamiseksi kohtuullisilla ilmavirroilla onkin erittäin tärkeää pyrkiä poistamaan mahdollisimman suuri osa lämpökuormasta ja epäpuhtauksista suoraan.

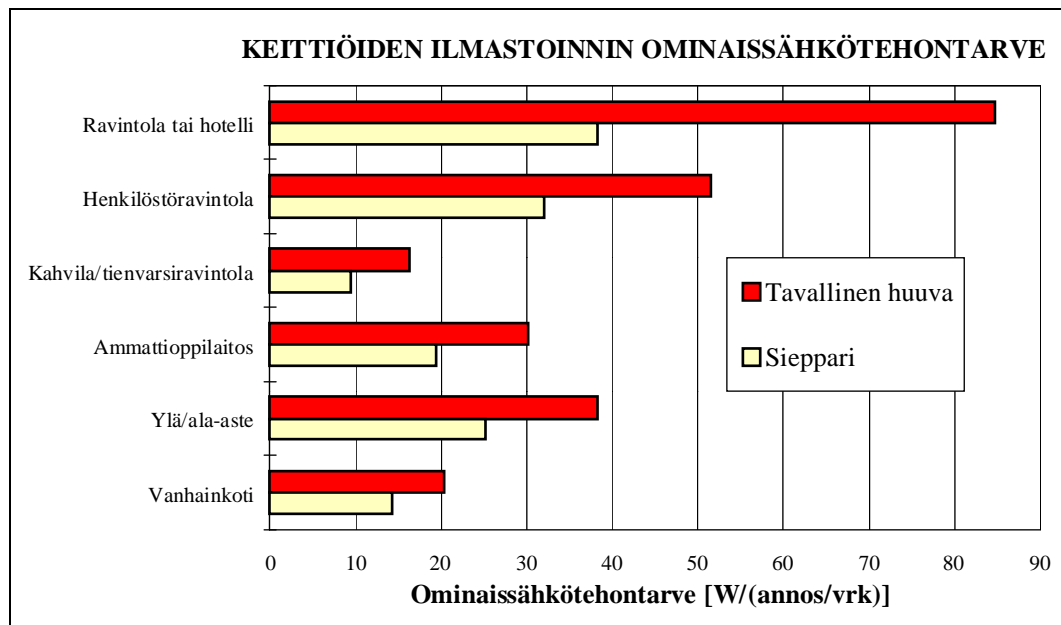
Keittiölaitteiden verkosta ottamasta sähkötehosta vain osa vapautuu lämpökuormana huoneeseen ja loppuosa kuluu mm. ruuanvalmistusprosessin faasimuutoksiin, sitoutuu ruokaan tai kulkeutuu viemärin kautta ulos huoneesta. Lisäksi ilmastoinnin mitoituksessa huomioidaan keittiölaitteen todellinen käyttöaste, esim. lieden levyistä vain osa on päällä samanaikaisesti. Em. tekijät otetaan huomioon lämpöteho- ja käyttöastekertoimien avulla. Taulukossa 24 on esitetty laskelmissa käytetyt kertoimien arvot.

Taulukko 24. Laskelmissa käytetyt keittiölaitteiden lämpöteho- ja käyttöastekerroimien sekä näistä laskettujen kokonaiskerroimien arvot muutamien erityyppisten laitteiden osalta.

Keittiölaite	Lämpöteho-kerroin	Käyttöaste-kerroin	Kokonaiskerroin
Astianpesukone	0,70	0,70	0,49
Liesi uunilla	0,70	0,70	0,49
Yhdistelmäuuni	0,20	0,80	0,16
Parila	0,90	0,90	0,81
Rasvakeitin	0,70	0,70	0,49
Paistinpannu	0,80	0,70	0,56
Keittopata	0,40	0,70	0,28

Keittiöiden jäähdytystarpeen mitoitus ja ilmastoinnin energiankulutuksen laskenta suoritettiin dynaamisella simulointiohjelmalla. Keittiöiden koko, laitevalikoima ja käyttöajat olivat Hackman Metos Oy:n suunnittelupalvelun arvioiden mukaiset (Liite 1). Ilmastointi toteutettiin vakioilmavirtajärjestelmällä, joka oli varustettu koneellisella tuloilman jäähdytyksellä. Keittiön kesätilanteen mitoituslämpötilaksi valittiin +25 °C. Sisäänpuhallusilman minimilämpötila oli +15 °C.

Ilmastoinnin ominaistehontarve (Kuva 79) laskettiin tuotettua palvelua eli annosta kohti vuorokaudessa. Ilmastoinnin ominaissähkötehtontarve vaihtelee voimakkaasti keittiötyypin mukaan. Lisäksi tehontarpeeseen vaikuttaa kohdepoistolaitteiston tehokkuus.



Kuva 79. Eri keittiötyyppien ilmastoinnin ominaissähkötehtontarve.

Osa keittiölaitteista on käytännössä aina varustettu jonkinasteisella huuvalla. Seuraavassa on esitetty eri keittiötyyppien ilmastoinnin ominaistehontarve, kun

kohdepoisto on toteutettu tavallisella huvalla (lämpökuorman poistotehokkuus 50 %):

- | | | |
|----------------------------------|--------------------|----------|
| • Kahvila tai tienvarsiravintola | 16,3 W/(annos/vrk) | |
| • Vanhainkoti | 20,3 W/(annos/vrk) | (+ 25 %) |
| • Ammattioppilaitos | 30,2 W/(annos/vrk) | (+ 85 %) |
| • Ylä- tai ala-aste | 38,3 W/(annos/vrk) | (+135 %) |
| • Henkilöstöravintola | 51,6 W/(annos/vrk) | (+217 %) |
| • Ravintola tai hotelli | 84,8 W/(annos/vrk) | (+420 %) |

Pienin tehontarve on kahvila tai tienvarsiravintoloissa ja vanhainkodeissa, joissa ilmastonoinn ominaistehontarve tavallisella huvalla on tyypillisesti 15 - 20 W/(annos/vrk). Ammattioppilaitosten, ylä- tai ala-asteiden ja henkilöstö-ravintoloiden tehontarve on edellisiin verrattuna kaksin- tai kolminkertainen, 30 - 50 W/(annos/vrk). Suurin ilmastonoinnin sähkötehontarve on ravintoloissa ja hotelleissa, noin 85 W/(annos/vrk).

Kohdepoistolaitteiston vaikutus

Kohdepoistoratkaisujen vaikutusta on tässä raportissa käsitelty kolmen eritasoisen vaihtoehdon avulla:

- Ei huuva, jolloin keittiössä ei ole lainkaan kohdepoistoja. Tämä on lähinnä teoreettinen vaihtoehto ja vastaa huonointa mahdollista tilannetta.
- Tavallinen huuva, jolla lämpökuormien poistotehokkuus on noin 50 %. Vastaa tyypillistä toteutusta.
- Sieppari eli sieppausilmasuihkulla tehostettu huuva, jonka lämpökuormien poistotehokkuudelle on laskelmissa käytetty keskimääräistä arvoa 85 %.

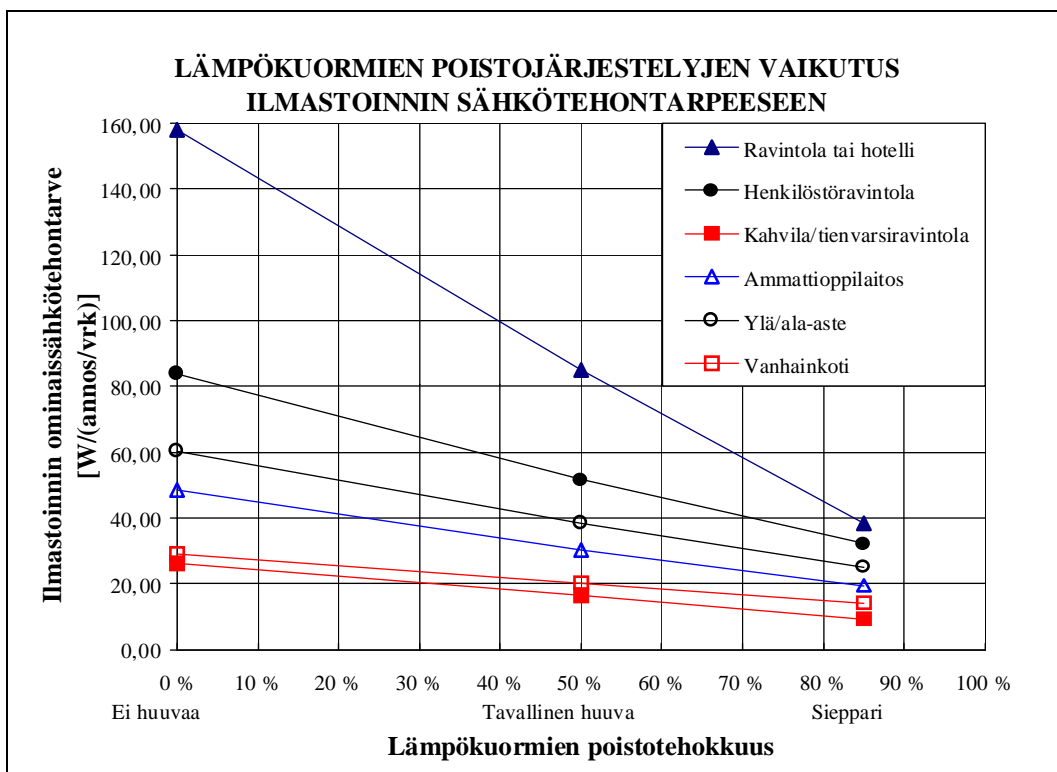
Ilmastointikatto, vaikka ei olekaan varsinainen kohdepoistolaite, on lämpökuormien poistotehokkuudessa jonkin verran sieppausilmaa hyödyntäviä huuvaratkaisuja heikompi, mutta tavallista huuva tehokkaampi. Ilmastointikattona on kuitenkin keittiölaitteiden vapaampi sijoittelumahdollisuus sekä joustavuus ja muunneltavuus. Tällöin poistotehokkuus säilyy varsinaisia kohdepoistolaitteita helpommin samana myös keittiön muutostilanteissa.

Kohdepoistoratkaisujen vaikutusta arvioitaessa tulee huomata, että kaikkia keittiön laitteita ei voi eikä kannata sijoittaa kohdepoistojen piiriin. Näitä laitteita ovat tyypillisesti kylmälaitteet, säilytyslaitteet ja erilaiset pienkoneet. Laskelmien esimerkikikeittiöissä kohdepoistolaitteiden ulkopuolelle sijoittui 7 - 17 % kokonaislämpökuormasta. Tämän lämpökuorman merkitys korostuu erityisesti tiloissa, joissa muut keittiölaitteet on varustettu tehokkailla kohdepoistolaitteilla.

Keittiöiden ilmastonoinn ominaistehontarpeeseen vaikuttava suurin yksittäinen tekijä on lämpökuormien poistotehokkuus. Sen vaikutus ilmastonoinn tehontarpeen

seen on lähes lineaarinen (Kuva 80) siten, että vaikutus on suurimmillaan korkeilla lämpökuormatasoilla. Tehokkaamman kohdepoistolaitteiston (poistotehokkuus 85 %) tehonsäästöpotentialiaali tavalliseen huuvaan (poistotehokkuus 50 %) verrattuna on seuraava:

- Ravintola tai hotelli - 46,5 W/(annos/vrk) (- 55 %)
- Henkilöstöravintola - 19,5 W/(annos/vrk) (- 38 %)
- Kahvila tai tienvarsiravintola - 6,9 W/(annos/vrk) (- 42 %)
- Ammattioppilaitos - 10,8 W/(annos/vrk) (- 36 %)
- Ylä- tai ala-aste - 13,1 W/(annos/vrk) (- 34 %)
- Vanhainkoti - 6,1 W/(annos/vrk) (- 30 %).



Kuva 80. Kohdepoistolaitteiston tehokkuuden vaikutus ilmastoinnin ominaissähkötehontarpeeseen. Kohdepoiston piirissä 83 - 93 % kokonaislämpökuormasta.

Toisin sanoen ilmastointi voidaan mitoittaa keittiötyypin mukaan kolmanneksen tai jopa yli puolet pienemmäksi, mikäli lämpökuormien poistoon käytetään tehokkaita kohdepoistoratkaisuja.

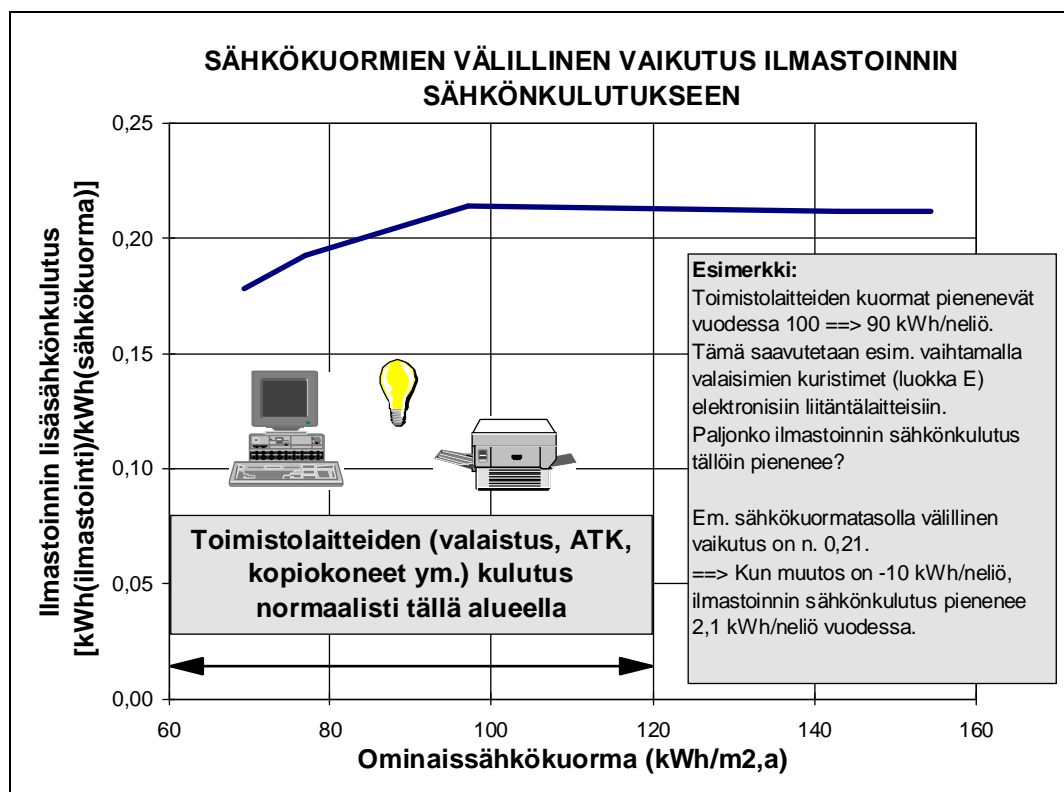
6.2 SÄHKÖKUORMIEN VAIKUTUS JÄÄHDYTYSENERGIAN KULUTUKSEEN

Sähkökuormien vaikutusta rakennusten jäähdytysenergian kulutukseen on seuraavassa tarkasteltu laskennallisesti. Laiteryhmistä on erikseen tarkasteltu ns. toimistolaitteita, joihin voidaan tässä yhteydessä sisällyttää kaikki toimistotiloissa työaikana käytettävät sähkölaitteet. Keittiöt on tarkasteltu erikseen suurten lämpökuormien sekä niiden muista tiloista eroavien poistomahdollisuuksien takia.

Jäähdytysenergian kulutusta on tarkasteltu huonetilojen jäähdytyksen tuottamiseen tarvittavien laitteiden sähköenergian kulutuksen, ei tuotetun jäähdytysenergian, avulla. Jäähdytyksen sähkönkulutus sisältää siis sekä puhaltimien että vedenjäähdyttimen kompressorin sähkönkulutuksen.

6.2.1 Toimistolaitteet

Toimistotiloissa työaikana käytettävien sähkölaitteiden lämpökuorman välillinen vaikutus jäähdytyksen sähkönkulutukseen erilaisilla sähkölaittekuormituksilla on esitetty kuvassa 81.



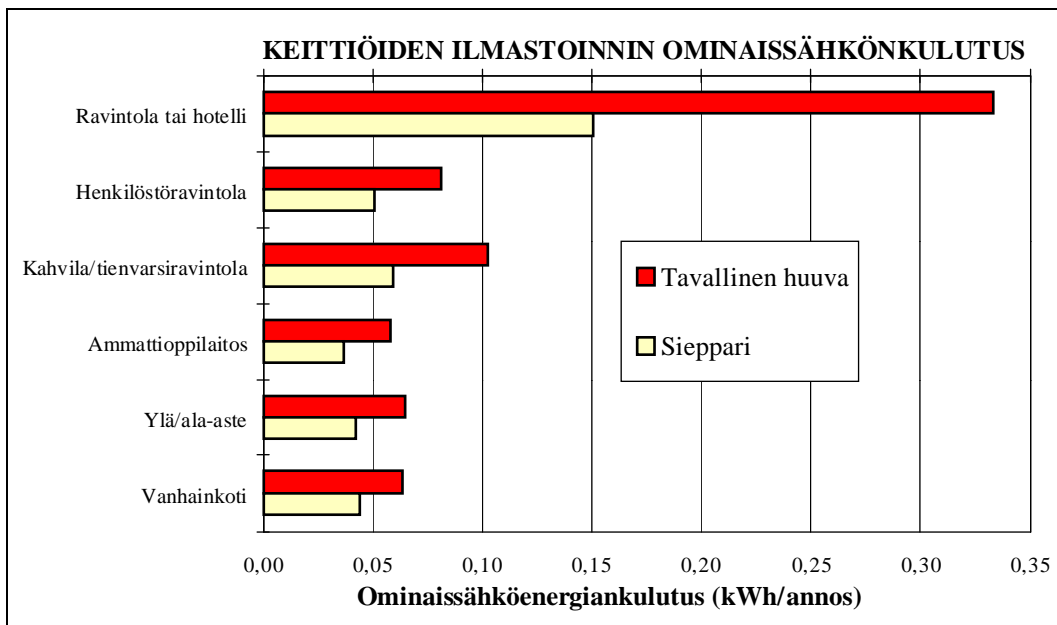
Kuva 81. Toimistojen sähkökuormien välillinen vaikutus ilmastoinnin sähkönkulutukseen erilaisilla sähkökuormatasoilla (valaistus+ATK-laitteet), kun ilmastointijärjestelmänä on huonekohtainen MIV-järjestelmä varustettuna tuloilman koneellisella jäähdytyksellä.

Tyypillisillä toimistojen lämpökuormituksilla välillinen vaikutus on 22 %, kun ilmastointijärjestelmänä on huonekohtaisella ilmavirran säädöllä varustettu MIV-järjestelmä. Toisin sanoen jokainen kWh enemmän toimistolaitekuormaa lisää yli 0,2 kWh ilmastointilaitteiden (puhaltimet ja vedenjäähdyttimen kompressori) sähkönkulutusta.

Muilla ilmajärjestelmillä sekä vapaajäähdytystä hyödyntävillä vesijärjestelmillä välillisen vaikutuksen voidaan arvioida olevan samansuuruinen.

6.2.2 Keittiölaitteet

Ilmastoinnin ominaissähkönkulutus vaihtelee voimakkaasti keittiötyypin mukaan (Kuva 82). Lisäksi ilmastoinnin sähkönkulutukseen vaikuttaa kohdepoistolaiteiston tehokkuus.



Kuva 82. Eri keittiötyyppien ilmastoinnin ominaissähkönkulutus.

Seuraavassa on esitetty eri keittiötyyppien ilmastoinnin ominaissähkönkulutus ammattioppilaitoskeittiöön verrattuna. Keittiöt oli varustettu tavallisella huuvalla, jonka lämpökuorman poistotehokkuus on 50 %:

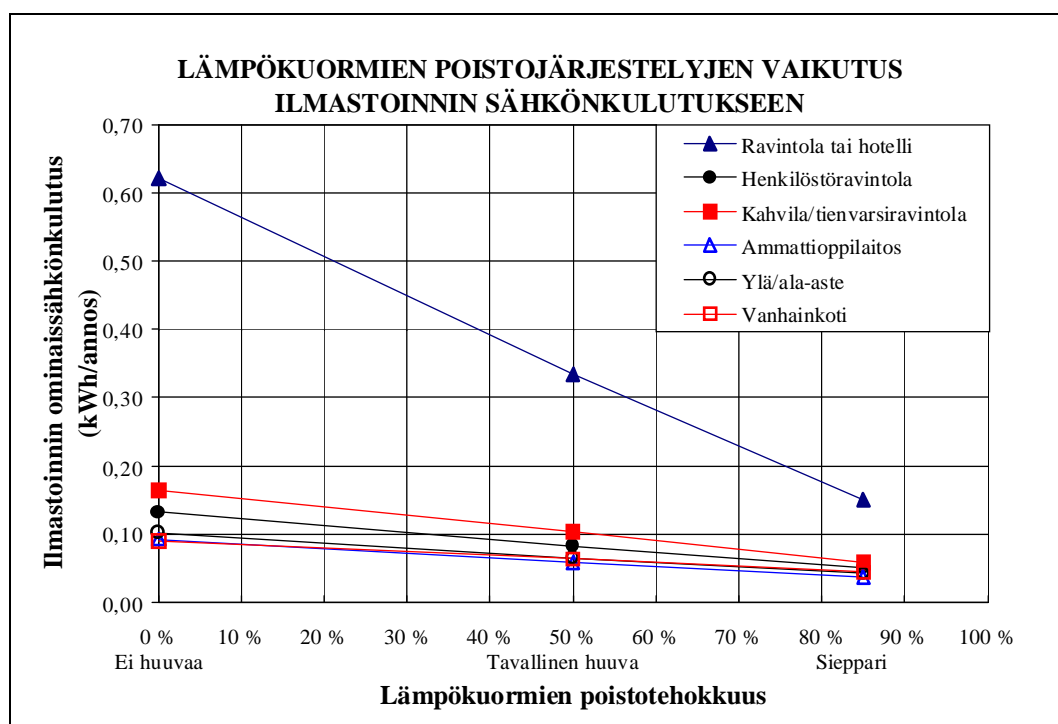
- Ammattioppilaitos 0,058 kWh/annos
- Vanhainkoti 0,063 kWh/annos (+ 9 %)
- Ylä- tai ala-aste 0,065 kWh/annos (+ 12 %)
- Henkilöstöravintola 0,081 kWh/annos (+ 40 %)
- Kahvila tai tienvarsiravintola 0,103 kWh/annos (+ 77 %)
- Ravintola tai hotelli 0,333 kWh/annos (+ 476 %)

Pienin välillinen energiankulutus on ammattioppilaitosten, vanhainkotien sekä ylä- ja ala-asteiden keittiöissä, joissa ilmastoinnin sähkönkulutus tavallisella huuvalla on tyypillisesti noin 0,06 kWh/annos. Henkilöstö- ja kahvila tai tienvarsiravintoloissa ilmastoinnin sähkönkulutus on välillä 0,08 - 0,10 kWh/annos ja suurin ravintoloiden ja hotellien keittiöissä, noin 0,3 kWh/annos.

Kohdepoistolaitteiston vaikutus

Lämpökuormien poistotehokkuuden vaikutus ilmastoinnin sähkökulutukseen on lähes lineaarinen (Kuva 83) siten, että vaikutus on suurimmillaan korkeilla sähköenergian ominaiskulutustasoilla. Tehokkaamman kohdepoistolaitteiston (poistotehokkuus 85 %) sähkönsäästöpotentiaali tavalliseen huuvaan (poistotehokkuus 50 %) verrattuna on seuraava:

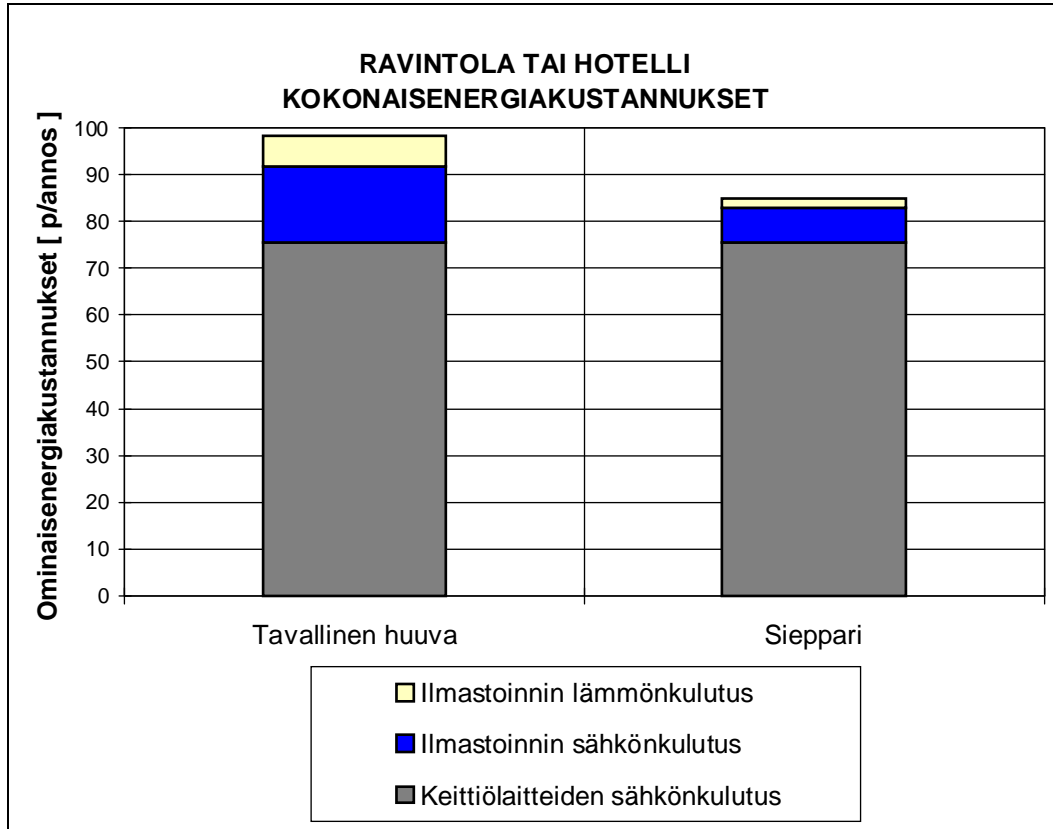
- Ravintola tai hotelli - 0,18 kWh/annos (- 55 %)
- Henkilöstöravintola - 0,03 kWh/annos (- 38 %)
- Kahvila tai tienvarsiravintola - 0,04 kWh/annos (- 42 %)
- Ammattioppilaitos - 0,02 kWh/annos (- 36 %)
- Ylä- tai ala-aste - 0,02 kWh/annos (- 34 %)
- Vanhainkoti - 0,02 kWh/annos (- 30 %).



Kuva 83. Kohdepoistolaitteiston tehokkuuden vaikutus ilmastoinnin ominais­sähkö­kulutukseen. Kohdepoiston piirissä 83 - 93 % kokonaislämpökuormasta.

Ilmastoinnin energiakustannukset

Kuvassa 84 on esitetty keittiölaitteiden ja ilmastoinnin energiakustannukset ravintoloiden ja hotellien keittiöissä erilaisilla kohdepoistoratkaisuilla.

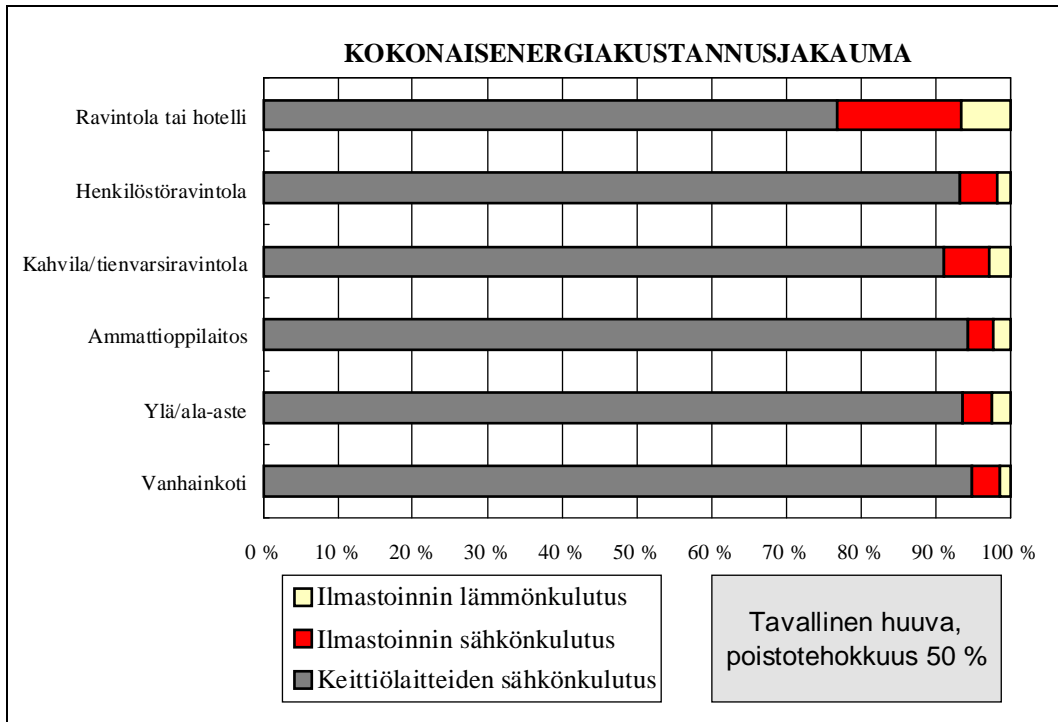


Kuva 84. Keittiölaitteiden ja ilmastoinnin energiakustannukset ravintoloiden ja hotellien keittiöissä erilaisilla lämpökuormien poistoratkaisuilla. Poistoilman LTO, hyötysuhde 50 %.

Ravintoloissa ja hotelleissa valmistettavissa annoksissa energiakustannusten osuus on noin 1 mk/annos. Keittiölaitteiden suora sähkönkulutus muodostaa energiakustannuksista suurimman osan. Kohdepoistoratkaisun valinnalla voidaan vaikuttaa ilmastoinnin sähkö- ja lämpökustannuksiin. Näiden välillisten energiakustannusten osuus kokonaisenergiakustannuksista on ravintoloiden ja hotellien keittiöissä seuraava:

- tavallinen huuva 23 %
- sieppari 11 %.

Muissa keittiötyypeissä välillisten energiakustannusten osuus kokonaisenergiakustannuksista on ravintoloiden ja hotellien keittiöitä pienempi (Kuva 85) ja vaihtelee tavallisella huuvalla varustetuissa keittiöissä 5 - 9 %.



Kuva 85. Erilaisten keittiöiden energiakustannusten jakautuminen suoraan (keittiölaitteiden sähkö) ja välilliseen (ilmastoinnin sähkö ja lämpö) kulutukseen. Tavallinen huuva, jonka lämpökuormien poistotehokkuus on 50 %.

7 YHTEENVETO

Sähkölaiteryhmien kulutusluokittelut

Sähköenergian kulutusarvioitaessa laadittaessa ja kulutuksia seurattaessa käytetään yleisesti tunnuslukua, jossa kulutus jaetaan rakennustilavuudella. Sähkön rakennustilavuutta kohti laskettu ominaistilavuus vaihtelee eri rakennuksissa ja eri rakennustyypeissä melko paljon. Sähkön kulutuserot johtuvat mm. erilaisesta varustetasosta ja toiminnasta. Siksi ominaiskulutus rakennustilavuutta kohti ei ole paras mahdollinen mittari eri rakennusten sähkönkulutusten vertailuun. Tutkimuksessa kehitettiin menetelmä, jossa rakennuksen sähkönkulutus lasketaan sen tarvitsemien palvelujen avulla. Rakennuksen eri laiteryhmillä määriteltiin kulutusluokittelut, jossa laitteen kulutus normitettiin sen tuottamaa palveluyksikköä kohti. Luokittelussa määritettiin keskimääräinen taso (D-taso), joka on nykyisellä käytössä olevalla teknologialla mahdollista saavuttaa. Asteikkona käytetään kirjaimia A:sta G:hen. Taso A edustaa energiaa säästävää tekniikkaa ja taso G energiaa tuhlaavaa. Tuntemalla rakennuksen varustetaso ja sen tarvitsemat palvelut sekä laiteryhmiä luokittelut, voidaan sähkön kokonaiskulutuksen tavoitearvo laskea.

Rakennuksen sähkölaitteille määriteltiin energiatehokkuusluokittelut seuraavien laiteryhmiä osalta:

- puhaltimet, pumput, kylmälaitteet (kotitalous- ja suurtalouslaitteet)
- valaistus, toimistolaitteet (PC-laitteet, näytöt ja kirjoittimet).

Lisäksi esitettiin asuinkerrostaloille, pientaloille ja toimistorakennuksille rakennuskohtaiset kulutusluokittelut ja -jakaumat, jotka muodostettiin arvioimalla kunkin rakennuksen tyypillinen laitekanta ja palvelut.

Tutkimuksessa tarkasteltiin eri laiteryhmiä säästömahdollisuuksia sähköenergian käytössä. Nykypäivän suunnittelu- ja urakointikäytäntö ei huomioi sähkölaitteen energiankulutusta, koska määräävämpänä tekijänä on laitteen hinta eikä sen energiankulutus. Usein käykin, että valitaan halvempi, sähköä tuhlaava laite, vaikka hieman kalliimpi energiatehokkaampi laite olisi saatavilla. Sähkölaitteen hintaa tulisikin tarkastella sen koko elinkaaren yli ottaen huomioon investointi- ja käyttökulut, jolloin voitaisiin minimoida sähkölaitteen käytöstä aiheutuvat kokonaiskustannukset.

Summamittausmenetelmä

Tutkimuksessa kehitettiin sähkölaitteiden kulutusseurantaan summamittausmenetelmää, jolla erillisten laiteryhmiä kulutuksia voidaan seurata rakennuksen pääsyötöstä ilman erillistä laitekohtaista mittarointia. Mittauslaitteisto tunnistaa eri sähkölaitteet niille tyypillisten ”sähköisten sormenjälkien” mukaan. Kehitetty summamittausjärjestelmän prototyyppi on ilmeisesti ainoa laatuaan maailmassa. Sillä pystytään mittaamaan ja erottelemaan laitteiden sähköverkossa

aiheuttamia pätö- ja loistehojen muutoksia kolmivaiheisesti käyttäen hyväksi digitaalista kWh/kVAr-mittaria. Prototyypiohjelma toimii Windows-ympäristössä ja on liitetty RS-väylän kautta kaupalliseen Mitrix Oy:n mittariin. Seurantamittauksia tehtiin kolmessa seurantakohteessa: omakotitalossa, liikerakennuksessa ja päiväkodissa. Mittauksista saatiin seuraavat tulokset:

- Omakotitalossa vesivaraajan kulutus pystyttiin erottelemaan 100 %:sesti uudella mittaustekniikalla ja muusta kulutuksesta pystyttiin jakamaan komponentteihin noin 60 - 70%.

Summamittausmenetelmällä ei pystytä tunnistamaan seuraaventyypisiä sähkökuormia:

- jatkuvasti päällä olevat kuormat
- hyvin pienet kuormat < 50 W
- jatkuvasti tehoaan muuttavat kuormat

PC-ympäristöön kehitetyn analysointityökalun tämänhetkiset puutteet ovat seuraavat:

- ei pysty erottelemaan toisistaan samassa vaiheessa tapahtuneita yhtäaikaisia tehomuutostapahtumia
- mikäli tunnistamatta jää saman laitteen peräkkäiset off- ja on-tapahtumat esim. yhtäaikaisten tapahtumien vuoksi, yhdistyvät toisiinsa ensimmäisen jakson on- ja toisen jakson off-tapahtumat, mistä on seurauksena virhetulkinta.

Sähkökuormien välilliset vaikutukset lämmitykseen

Sähkökuormien välillisiä vaikutuksia rakennusten lämmitykseen tarkasteltiin laskennallisilla ja tilastollisilla analyyseillä. Laskelmissa havaittiin, että suuri kuormitustaso pienentää sähkökuormien hyödyntämistä. Tulevaisuuden rakennuksissa sähkökuormista voidaan hyödyntää vain pieni osa, koska hyvien eristysominaisuuksien vuoksi kuormat ovat suuremmat kuin lämpöhäviöt suuren osan vuodesta. Kun sähkökuorma on suurempi kuin 20 kWh/m^3 , ei sähkökuorman kasvu pienennä lämmöntarvetta.

Nykypäivän rakennuksille laskennallinen sähkökuormien hyödynnettävyys lämmityksessä on asuinrakennuksille noin $0,45\text{-}0,50 \text{ kWh}_{\text{lämpö}}/\text{kWh}_{\text{sähkö}}$ ja toimistorakennuksille noin $0,25\text{-}0,45 \text{ kWh}_{\text{lämpö}}/\text{kWh}_{\text{sähkö}}$, kun säätöjärjestelmän hyötysuhde on 80 %. Tunnusluvut pätevät sähkökuormiin, jotka lämmittävät huonetilaa. Tunnusluvuilla ei voi suoraan laskea rakennuksen kokonaissähkökulutuksen muutoksen vaikutusta lämmitysenergiatarpeeseen, koska kokonaissähkökulutus sisältää myös komponentteja, jotka eivät ole hyödynnettävissä lämmityksessä. Tällaisia ovat mm. autopaikkojen, ulkovalaistuksen, ym. kulutukset. Asuinrakennukset poikkeavat kuormitustasoltaan toimistorakennuksista, jolloin sähkön hyödyntämiskertoimet eivät ole samansuuruisia.

Sähkökuormat eivät merkittävästi alenna lämmitystehon mitoitusta, koska kuormat ja huipputeho ovat eriaikaisia. Lämmitystehontarpeen huippu toimistorakennuksissa on usein aamulla, kun IV-koneet käynnistyvät. IV-koneiden

käynnistys tapahtuu yleensä hieman ennen rakennuksen aktiivista käyttöä, jolloin sähkökuormia ei ole hyödynnettävissä. Teholaskelmia asuinrakennuksille ei tehty, mutta vastaavasti asuinrakennuksilla lämmöntarpeen huipputeho ei ole samanaikainen sähkökuormien kanssa, koska todennäköinen ulkolämpötilan minimi esiintyy yöaikaan. Tällöin sähkökuormia ei ole käytettävissä lämmitykseen.

Tehdyissä tilastollisissa analyyseissä kiinteistöjen toteutuneista energiankulutuksista havaittiin, että toimistorakennuksissa sähkökuormien hyväksikäyttöaste lämmityksessä oli noin 0,22 - 0,76 kWh_{lämpö}/kWh_{sähkö}. Asuinrakennuksissa sähkön ja lämmönkulutuksen välinen riippuvuus ei ollut yhtä selkeää huonon tilastollisen korrelaation vuoksi. Asuinrakennusten otannan sähkökuormien hyväksikäyttöaste oli noin 0,54 kWh_{lämpö}/kWh_{sähkö}. Tulokseen täytyy kuitenkin suhtautua erittäin varauksellisesti. Otannan selitysaste asuinkerrostaloissa oli $R^2 = 0,017$, joka on huono.

Tilastolliset tarkastelut ovat hyvin herkkiä rakennuksen käyttöön liittyville muutoksille. Tilastollisia tarkasteluja sotkevat mm seuraavat tekijät:

- Tarkasteluajanjakson aikaiset käytön muutokset (esim. osa tiloista alussa tyhjiään ja myöhemmin ne otetaan käyttöön, iltakäyttö lisääntyy jne.).
- Henkilömäärän muuttuminen toimistorakennuksissa (henkilömäärän kasvusta seuraa IV:n, PC-laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutuksen sekä lämpimän käyttöveden ja IV:n lämmönkulutuksen kasvu, joka sekoittaa tilastollisia tarkasteluja. Lisäksi lisääntynyt henkilökunta tuo oman ilmaislämpönsä rakennuksen energiataseeseen).
- Tarkasteluajanjakson aikaiset saneeraukset.
- Asuinrakennuksissa sähkönkulutus on pieni verrattuna lämmönkulutukseen (pienetkin lämmönkulutuksen muutokset ovat suuria verrattuna sähkönkulutukseen).

Jotta tilastolliset tarkastelut olisivat päteviä, täytyisi rakennuksen käyttötarkoituksen ja aktiviteetin pysyä muuttumattomana tarkastelujakson aikana. Sähkökuormien hyödynnettävyys lämmityksessä on hyvin monimuotoinen ilmiö, joka koostuu useista eri tekijöistä. Teoreettisissa laskelmissa kuormien hyödynnettävyys tulee selkeästi esille, mutta toteutuneiden energiankulutusten tilastollisissa analyyseissä kuormien hyödynnettävyys ei ole enää yhtä selkeä. Näyttääkin siltä, että rakennuksen käyttäjän vaikutus sähköenergian hyödynnettävyyteen on merkittävä. Esimerkiksi laskelmissa kuormista johtuvat yllilämmöt nostavat huonelämpötilaa ja osittain varastoituvat rakenteisiin. Käytännön elämässä rakennuksen käyttäjä aukaisee ikkunan, kun huoneessa on kuuma ja tuulettaa yllilämmöt ulos. Lisäksi käyttäjien energiaa tuhlaavat tottumukset ovat mukana tilastollisissa analyyseissä, kun taas laskelmat olettavat rakennusta käytettävän aina ideaalisesti. Asumisessa tuhlaavat tottumukset heikentävät tilastollista analyysia, koska perheissä, joissa tuhlaataan lämpöä tuhlaataan myös sähköä.

Sähkökuormien välilliset vaikutukset jäähdytykseen

Sähkökuormien välilliset vaikutukset rakennusten jäähdytyksen sähköenergiankulutukseen ovat erityisen merkittäviä kokonaissähkökulutuksen kannalta, koska sähkölaitteiden lämpökuormien vaikutus on päinvastainen kuin lämmityksessä. Lämmityksessä lisääntynyt sähkölaitteiden käyttö pienentää lämmityksen energiankäyttöä eli osa laitekuormasta voidaan hyödyntää. Jäähdytyksessä lisääntynyt sähkölaittekuorma lisää välillisesti sähkökulutusta, josta aiheutuu vain lisäkustannuksia kiinteistöille.

Rakennusten sisätiloissa olevat sähkölaittekuormat vaikuttavat välillisesti myös ilmastointilaitteiden mitoitukseen ja sitä kautta sekä ilmastoinnin tehontarpeeseen että energiankulutukseen. Välillisen vaikutuksen suuruus riippuu valitusta ilmastointijärjestelmästä sekä sähkölaitteiden käyttöajoista.

Toimistolaitekuormien lisäyksen välillinen vaikutus ilmastoinnin tehontarpeeseen on ilmajärjestelmillä yli 50 % ja vesijärjestelmillä yli 40 % toimistolaitteiden sähkötehon muutoksesta. Ilmastoinnin sähkökulutus lisääntyy välillisesti yli 20 % toimistolaitekuorman muutoksesta.

Keittiöiden muita tiloja suurempien lämpökuormien aiheuttamia välillisiä vaikutuksia ilmastoinnin mitoitukseen ja energiankulutukseen voidaan pienentää käyttämällä tehokkaita kohdepoistoratkaisuja. Esimerkiksi ns. siepparia käyttämällä voidaan ilmastoinnin tehontarvetta ja energiankulutusta laskea kolmanneksella tai jopa yli puolella tavanomaiseen ratkaisuun verrattuna.

Ilmastoinnin ominaistehontarve on kahvila tai tienvarsiravintoloissa ja vanhainkohteissa tyypillisesti välillä 15 - 20 W/(annos/vrk), ammattioppilaitosten, ylä- tai ala-asteiden ja henkilöstöravintoloiden keittiöissä 30 - 50 W/(annos/vrk) ja suurimmillaan ravintoloissa ja hotelleissa, noin 85 W/(annos/vrk).

Ilmastoinnin ominaissähkökulutus on ammattioppilaitosten, vanhainkotien sekä ylä- ja ala-asteiden keittiöissä tyypillisesti noin 0,06 kWh/annos, henkilöstö- ja kahvila tai tienvarsiravintoloissa välillä 0,08 - 0,10 kWh/annos sekä ravintoloiden ja hotellien keittiöissä noin 0,3 kWh/annos.

Ravintoloiden ja hotellien annoksissa kokonaisenergiakustannukset ovat noin 1 mk/annos. Keittiölaitteiden suora sähkökulutus muodostaa energiakustannuksista suurimman osan. Ilmastoinnin energiakustannusten osuus vaihtelee kohdepoistoratkaisun mukaan 11 - 23 %. Muissa keittiötyypeissä välillisten energiakustannusten osuus kokonaisenergiakustannuksista on tätä pienempi.

LÄHDELUETTELO

1. Kosonen, R. & Aho, I. Energiansäästötoiminnan systematisointi Helsingin kaupungin omistamissa rakennuksissa. Espoo 1994, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1562. 85 s.
2. Isaksson, H. & Sandberg, E. Effektiv ventilation spar el. Undersökning av eleffektivitet i flerbostadshus. Stockholm 1994. Byggeforskningsrådet T 11:1994. 31 s.
3. SCANVAC. Klassindelade luftdistributionssystem- riktlinjer och specifikationer. Riktlinjeserien R2, Version 1,0. Stockholm 1991. Svenska Inneklimatinstitutet, Stockholm. 27 s.
4. Jagemar, L. Klassindelning med avseende på elanvändningen av luftbehandlingssystem för servicelokaler. Göteborg 1991. Chalmers Tekniska högskola. Avdelningen för installationsteknik. Document D11:1991. 81 s.
5. Jagemar, L. Energiekonomi. Val av fläktar och kanalutformning för luftbehandlingssystem i servicelokaler och industrier. Göteborg 1991. Chalmers Tekniska högskola. Avdelningen för installationsteknik. Document D10:1991. 81 p.
6. Pihala, H. & Koski, P. Rakennusten sähkön käyttö ja sen ohjaaminen. Espoo 1993. LVIS-2000 tutkimusohjelma, raportti 23. 114 s.
7. Ilmatekniikan suunnitteluopas. Valmet Oy ja O.Y Mercantile A.B. Turku 1978. Jaakkoo-Taara Oy. 98 s.
8. Seppänen, O. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. LVI-tekniikan Kustannus Oy. 348 s. ISBN 951-96098-0-6.
9. Keskustelu Ilkka Myllymäen (Kolmeks Oy) kanssa 16.2.1995.
10. Sandberg, E. & Isakson, H. Eleffektiv ventilation i flerbostadshus. Okt 1992. 108 s.
11. Olufsen, P. Elforbruk til mekanisk ventilation. Horsholm 1993. SBI-RAPPORT Statens Byggeforskningsinstitut. 40 s. ISBN 87-563-0829-9.
12. Ylhäisi M. KTM Energiaosasto Yhteenveto alustuksesta Pumppaus 94-seminaarissa 22.3.1994.
13. Tuoteluettelo 93-95. Turenki 1993. Kolmeks OY. 76 s.
14. Kaukonen, J., Pyrhönen, J. & Kurronen, P. Epätahtimoottoreiden sähkönkulutus ja häviöt puunjalostusteollisuudessa. Lappeenranta 1994. Tutkimusraportti EN B-88. LTKK Energiatekniikan osasto. 13 s.

15. Jagemar, L. Energiekonomi, Val av fläktar och kanalutformning för luft-behandlingssystem i servicelokaler och industri. Chalmers University of Technology. Document D10:1991. Göteborg 1991. 380 s.
16. Jagemar, L. Learning from experiences with energy efficient HVAC-systems in office buildings. CADDET Analysis Support Unit, Final Draft. Jan. 1995. 149 s.
17. Aittomäki, A. & Viita, I. Energian säästön mahdollisuudet jäähdytyslaitoksissa. Tampere 1993. TTKK, Lämpötekniikka, Raportti 89. 120 s. ISBN 951-721-993-8
18. Malin, A., Reisbacka, A. & Rytönen, A. Koneiden sijoittaminen keittiökä-lusteisiin. Helsinki 1993. Työtehoseuran monisteita 4/1993. 52 s. ISBN 951-788-194-0
19. Reisbacka, A. Ajankohtaista tietoa kylmäsäilytyslaitteista. Helsinki 1990. Työtehoseuran kotitaloustiedote 13/1990. 12 s.
20. Päivärinta, T. & Reisbacka, A. Vertailevaa tutkimustietoa jäähdytyslaitteista ja jääkaapista. Helsinki 1993. Yhteenveto työtehoseuran monisteesta 2/93.
21. Komission direktiivi 94/2/EY. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti N:o L 45/1.
22. Päivärinta, T. & Sillanpää, L. Selvitys suurkeittiöiden ja elintarvikkeiden kyl-mäketjun energiankäytön tehostamismahdollisuuksista. Helsinki 1992. Työtehoseuran monisteita 3/92. 43 s. ISBN 951-788-178-9
23. Markkinakatsaus: Kylmälaitteet, pakastimet. Sähkölaitosyhdistys 1994. 5 s.
24. Janhonen, H. & Sillanpää, L. Kylmäsäilytyslaitteiden energiankulutus suomalaisessa kotitaloudessa. TEHO 6/1993. s. 12 - 14.
25. Energiansäästö suurtalouksien keittiöissä. Helsinki 1984. Työtehoseuran julkaisuja 262. 223 s. ISBN-951-788-085-5.
26. Työtehoseuran kotitaloustiedotteet 4/87, 7/87, 8/87, 9/87, 11/87, 19/87, 21/87.
27. prEN 832. Thermal Performance of the buildings - Calculation of Energy Use for Heating - Residential Buildings. February 1994. 7th draft. 43 s.
28. Kotitalouksien sähkönkäyttötutkimus 1993. Helsinki 1995. Suomen Sähkölai-tosyhdistys ry. Julkaisusarja. 128 s.
29. Rantala E. Sähkön säästeliäs käyttö kiinteistössä. Helsinki 1981. Insinööritieto Oy. INSKON julkaisu 79-81. 207 s. ISBN 951-793-380-0.

30. Kaleva K. & Laine T. RAKET T-504. Sähkölaitteiden ja ilmastoinnin integroitu säätö, osaraportti 5. Insinööritoimisto Olof Granlund Oy. Helsinki 1993. 14 s.
31. Laine T. Toimistolaitteiden energiansäästön edistäminen, osatehtävä 1. Insinööritoimisto Olof Granlund Oy. Helsinki 1994. 10 s.
32. Molinder O. 1 year later. NUTEK, DOEE. Sweden 1994. 74 s.
33. Energiakatselmusraportti, KTM Dnro 261/854/93. Helsingin yliopistollinen keskussairaala, laboratoriotilat. Insinööritoimisto Olof Granlund Oy. 1994. 32 s.
34. Eloholma M. Työpaikkojen valaistussuunnittelu - tavoitteena hyvä näköympäristö. Talotekniikka nro 8, 1995. 61 - 62 s.
35. Lighting design requirements, office lighting, requirements for good and energy-efficient office lighting. Sweden 1994. NUTEK 1994-II, version 2. 14 s.
36. Energian säästö toimistorakennuksessa: valaistuskoeasennukset Motivan tiloissa keväällä 1995. Liteco Oy. 31.3.1995. 13 s.
37. Ottosson A. & Wibom R. Office lighting - a large-scale demonstration project in cooperation with electricity distributors. 3rd European Conference on Energy-Efficient Lighting 18-21.6.1995. 9 s.
38. Kara, R., Sähkön ja lämmön kulutus toimistorakennuksissa. Projektin sisäinen raportti. 19.6. 1995. 25 s.
39. Kara R. Sähkön ja lämmön kulutus asuinkerrostalossa. Projektin sisäinen raportti. 15.9. 1995. 17 s.

LIITE 1. SUURKEITTIÖTYYPIT

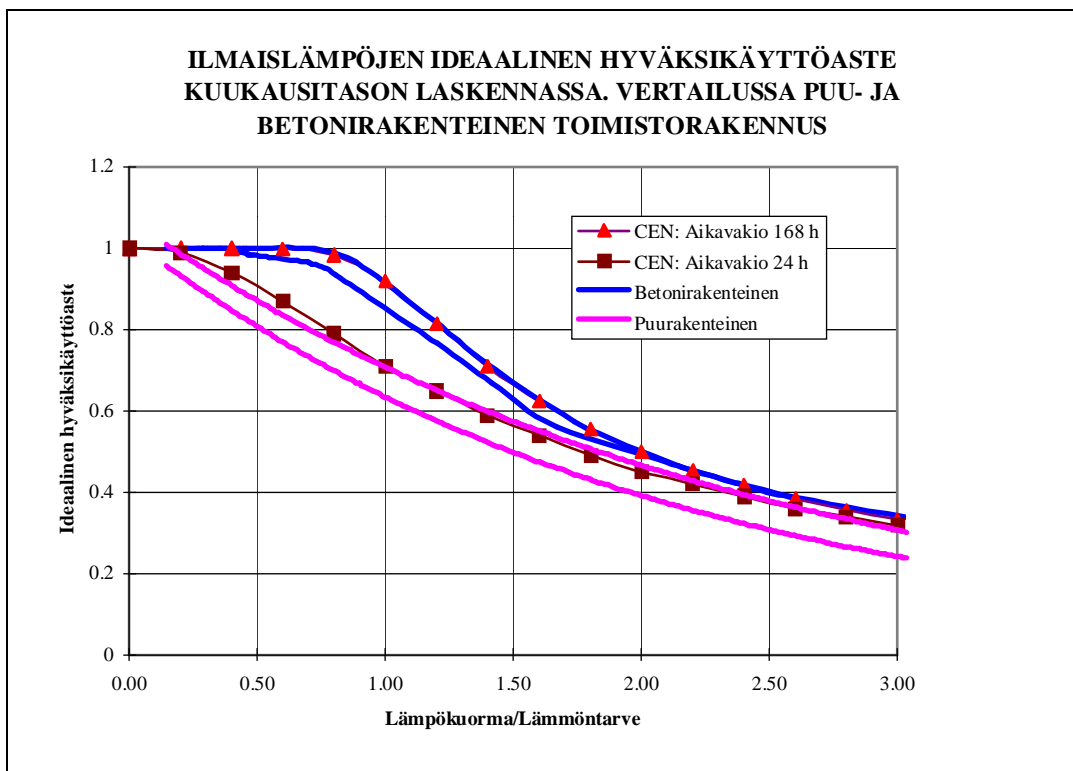
Taulukko 1. Tutkimuksessa laskettujen suurkeittiöiden tyyppijako

Keittiötyyppi	Ruokailijamäärä kpl	Annosmäärä kpl/vrk	Keskim.koko m ²	Käyttöaika		Huom.
				vrk/vuosi	klo	
Ravintola tai hotelli	100 - 200	100 - 200	45	300 - 365	11 - 01	
Henkilöstöravintola	100 - 300	100 - 300	72	200 - 240	09 - 15	Käyttö painottuu aamupäivään
Kahvila tai tienvarsiravintola	500 - 1000	500 - 1000	70	365	00 - 24	
a	600 - 800	600 - 800	195	188	07 - 15	
Ammattioppilaitos	200	800	60	365	07 - 18	ap + lounas + päiv. + ip dieettien määrä suuri
Vanhainkoti	500	500	130	190	08 - 15	Lukumäärä vähäinen
Ylä- tai ala-aste						Laitekanta astianpesua lukuun- ottamatta kotitalouslaitteita
Keskussairaala						
Päiväkoti						

LIITE 2. CEN-LASKENTAMENETELMÄN SOVELTAMINEN TOIMISTORAKENNUKSIIN

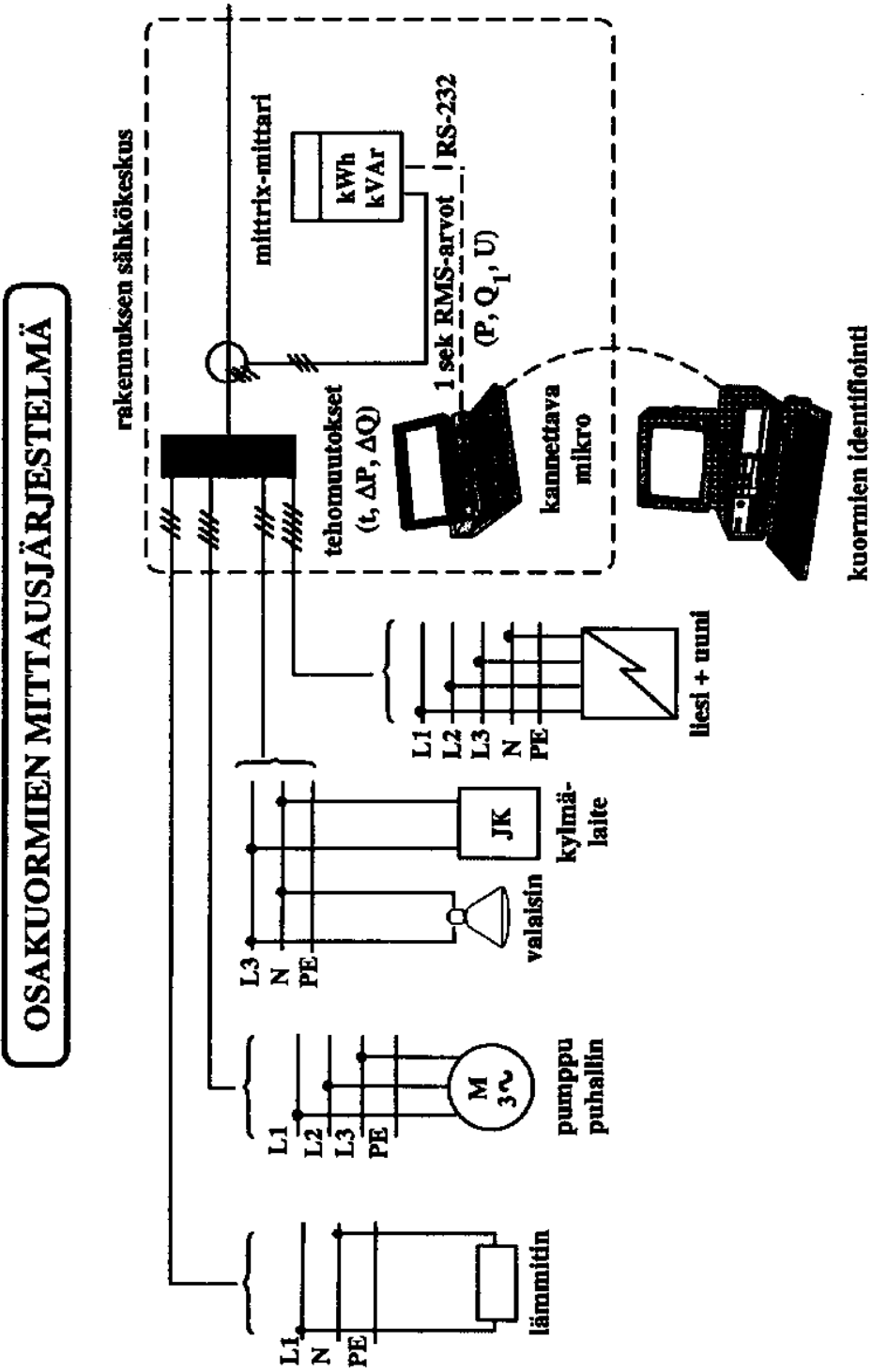
Koska CEN-standardin laskentamenetelmä käsittelee asuinrakennuksia, ideaalista hyväksikäyttöasteetta tarkasteltiin toimistorakennuksille erikseen. Toimistorakennusten IV-järjestelmät, käyttäjät ja kuormitukset poikkeavat asuinrakennuksista. Laskelmilla tarkasteltiin mahdollisia eroavaisuuksia toimisto -ja asuinrakennusten välillä ideaalisessa hyväksikäyttöasteessa. Laskelmissa varioitiin sähkökuormituksen sisäistä jakautumista rakennuksessa sekä eri rakennetyyppien vaikutusta. Kuvassa 1 on esitetty ideaalisen hyväksikäyttöasteen kulku lasketuissa toimistorakennuksissa eri rakenteilla.

Ideaalisesta hyväksikäyttöasteesta tietylle rakennetyypille muodostuu kahden käyrän välinen alue, jonka sisällä se vaihtelee riippuen kuormitusten jakautumisesta, kuormien luonteesta (auringon säteily, ihmiset, laitteet) ja kuormatehon profiileista. Betonirakenne ei ole yhtä herkkä kuormitusten jakautumisen muutoksille, jolloin alue on kapeampi. Betonirakennuksen kapasiteetti pystyy tasaamaan kuormituksen vaihtelut paremmin kuin kevyt rakenne. Kuvasta 1 voidaan havaita, että CEN-standardin ideaalisen hyväksikäyttöasteen laskentamenetelmä pätee kohtuullisesti myös toimistorakennuksille.



Liitekuva 1. Ideaalinen hyväksikäyttöaste simuloituissa toimistorakennuksissa. Vertailussa puurakenteinen ja betonirakenteinen toimistorakennus. Ideaalinen hyväksikäyttöaste tietylle rakennukselle muodostuu kahden käyrän välisestä alueesta, jonka sisällä se vaihtelee riippuen kuormitusten jakautumisesta, kuormien luonteesta (auringon säteily, ihmiset, laitteet) ja kuormatehon profiileista. Käyrät sovitettu simulointien tuloksista. Kuvaan piirretty CEN-laskentamenetelmän ideaalisen hyväksikäyttöasteen käyrät aikavakioilla vuorokausi ja viikko.

LIITE 3. SUMMAMITTAUSMENETELMÄN LAITTEISTO

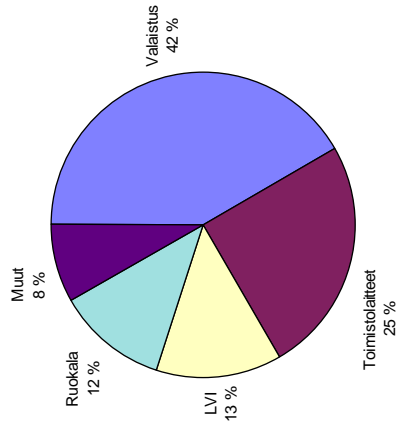


LIITE 4. TOIMISTORAKENNUKSEN KULUTUSLUOKITTELUN LASKENTA

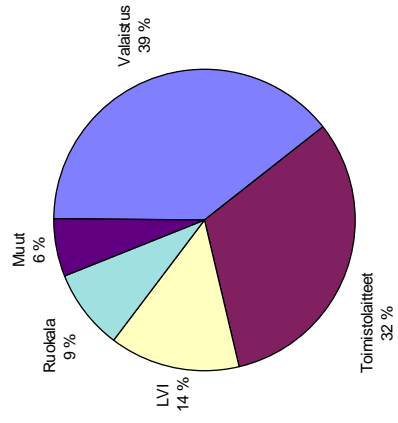
Taulukko 1. Toimistorakennuksen kulutusluokittelun laskenta

Toimistorakennus 10 000 m ³ , 3 200 br-m ² , 120 henkilöä				Luokittelutasot				Vuosikulutukset (kWh)			
Laiteryhmä	Palvelumäärä	Palvelyksikkö	Käyttöaika (h/a)	A	D	G	yks	A	D	G	
Valaistus											
Toimisto	1800	hym ²	2000	14	28	50	kWh/m ² ,a	35 750	67 150	117 630	
Kulkuulat	550	hym ²	2000	8	14	26	kWh/m ² ,a	25 200	50 400	90 000	
Varastot,arkistot	250	hym ²	1000	4	7	13	kWh/m ² ,a	4 400	7 700	14 300	
Ruokala	170	hym ²	1500	8,1	13,5	24	kWh/m ² ,a	1 000	1 750	3 250	
Pha	10000	rak-m ³		0,4	0,5	0,6	kWh/m ³ ,a	1 150	2 300	4 080	
Toimistolaitteet											
PC:t+näyttö	100	kpl	2000	190	430	650	kWh/kpl,a	4 000	5 000	6 000	
Kopiokoneet	3	kpl		430	1 760	1 850	kWh/kpl,a	19 000	43 000	65 000	
Laserkijottimet	240 000	sivua/a		5	25	40	Wh/sivu	1 290	5 280	5 550	
LVI yhteensä								11 540	23 630	41 080	
IV-laitos	3	m ³ /s	2500	2 500	5 625	10 000	kWh/(m ³ /s),a	1 200	6 000	9 600	
Poistot (WC:t ec..)	0,3	m ³ /s	8760	3 940	1760	15 770	kWh/(m ³ /s),a	11 540	23 630	41 080	
Pumput yhteensä								2 860	4 130	6 550	
Patteriverkosto	2,5	l/s	6500	585	845	1 300	kWh/(l/s),a	1 460	2 110	3 250	
LKV-kierto	1	l/s	8760	788	1 139	1 752	kWh/(l/s),a	790	1 140	1 750	
IV-verkosto	0,6	l/s	8760	788	1 139	1 752	kWh/(l/s),a	470	680	1 050	
IV-patteripumput	0,6	annos/a	2500	100	200	300	kWh/(l/s),a	140	200	300	
Ruokala	20 000	annos/a		0,5	0,75	1	kWh/annos	10 000	15 000	20 000	
Muut								7 230	10 320	13 410	
Autopaikat	50	kpl		100	150	200	kWh/paikka	5 000	7 500	10 000	
Hissi	10 000	rak-m ³		0,17	0,232	0,3	kWh/m ³	1 700	2 320	3 000	
Edustussuuna	25	lämmityskertoja/a		15	20	25	kWh/kerta	375	500	625	
								86 010	170 380	272 270	
								8,6 kWh/m³	17,0 kWh/m³	27,3 kWh/m³	

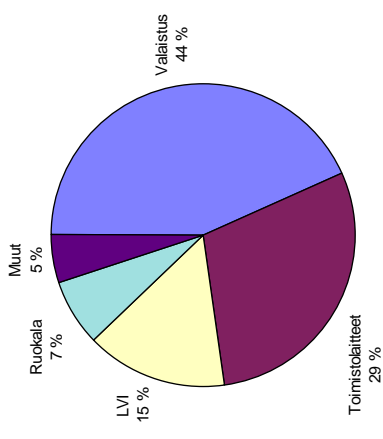
Toimistorakennus A-luokka, kokonaiskulutus 8.6 kWh/rak-kuutio



Toimistorakennus D-luokka, kokonaiskulutus 17 kWh/rak-kuutio



Toimistorakennus G-luokka, kokonaiskulutus 27.2 kWh/rak-kuutio



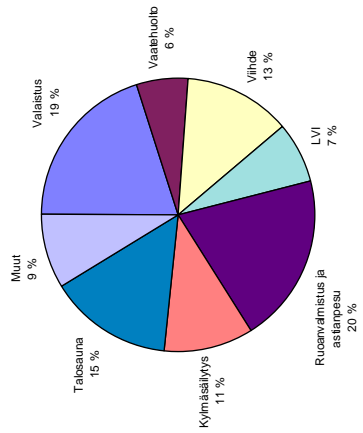
Kuva 1. Toimistorakennuksen sähkönkulutusjakaumat luokissa A, D ja G. Luokka D edustaa nykyistä kulutustasoa.

LIITE 5. ASUINKERROSTALON KULUTUSLUOKITTELUN LASKENTA

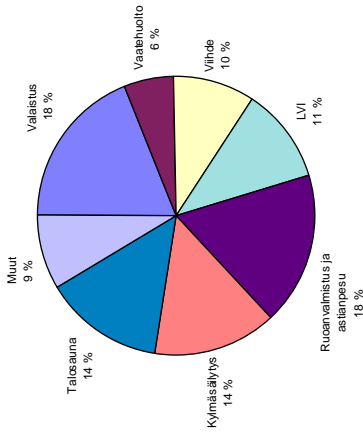
Taulukko 1. Asuinkerrostalon kulutusluokittelun laskenta

Kerrostalo 4 700 m ³ , 1520 br-m ² , 34 asukaista, 21 asuntoa				Luokittelutasot				Vuosikulutukset (kWh)			
Laiteryhmä	Palvelumäärä	Palveluyksikkö	Käyttöaika (h/a)	A	D	G	yks	A	D	G	
Valaistus								9 370	11 710	14 060	
Asunnot	21	asuntoa		340	425	510	kWh/asunto,a	7 133	8 917	10 700	
Kiinteistö	4 700	rak-m ³		0,5	0,6	0,7	kWh/a,m ³	2 237	2 797	3 356	
Vaatehuolto								2 870	3 590	4 310	
Pyykinpesu	21	kpl		103	128	154	kWh/kpl,a	2 153	2 691	3 229	
Kuivausrumpu	3	kpl		240	300	360	kWh/kpl,a	720	900	1 080	
Viihde								5 960	5 960	5 960	
TV	21	kpl		200	200	200	kWh/kpl,a	4 200	4 200	4 200	
Video	16	kpl		95	95	95	kWh/kpl,a	1 520	1 520	1 520	
PC	3	kpl		80	80	80	kWh/kpl,a	240	240	240	
Ruuanvalmistus ja astianpesu								9 260	11 030	12 810	
Liesi	21	kpl		271	339	406	kWh/kpl,a	5 691	7 113	8 536	
Mikroaaltouuni	14	kpl		50	50	50	kWh/kpl,a	700	700	700	
Kalvinkeitin	21	kpl		70	70	70	kWh/kpl,a	1 470	1 470	1 470	
Astianpesukone	10	kpl		140	175	210	kWh/kpl,a	1 400	1 750	2 100	
Kylmäsäilytys								4 950	8 990	11 240	
Jääkaappi	18	kpl		151	275	344	kWh/kpl,a	2 725	4 955	6 194	
Jää-viileäkaappi	3	kpl		182	331	414	kWh/kpl,a	546	994	1 242	
Kaappipakastin	8	kpl		209	380	476	kWh/kpl,a	1 674	3 043	3 804	
LVI yhteensä								3 480	6 870	11 940	
Poisto-IV	0,6	m ³ /s	8 760	3 942	8 760	15 768	kWh/(m ³ /s),a	2 365	5 256	9 461	
Patteriverkosto	1,5	l/s	6 500	585	845	1 300	kWh/(l/s),a	878	1 268	1 950	
LKV-kierto	0,3	l/s	8 760	788	1 139	1 752	kWh/(l/s),a	237	342	526	
Talosauna	21	asuntoa		327	409	491	kWh/asunto,a	6 870	8 590	10 300	
Muut								4 130	5 330	6 540	
Autopaikat	21	kpl		100	150	200	kWh/paikka	2 100	3 150	4 200	
Hissi	34	asukasta		18	23	27	kWh/asukas,a	621	776	931	
Talopesula	21	asuntoa		67	67	67	kWh/asunto,a	1 407	1 407	1 407	
								46 890	62 070	77 150	
								10,0 kWh/m ³	13,2 kWh/m ³	16,4 kWh/m ³	

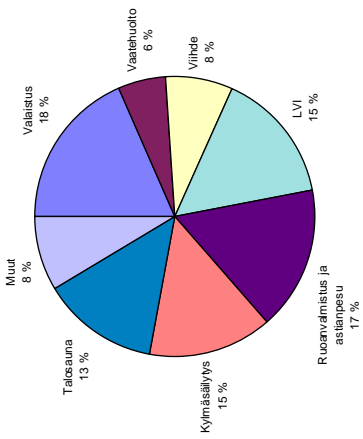
Asuinkeuhastalo A-luokka, kokonaiskulutus 10 kWh/rak-kuutio



Asuinkeuhastalo D-luokka, kokonaiskulutus 13.2 kWh/rak-kuutio



Asuinkeuhastalo G-luokka, kokonaiskulutus 16.4 kWh/rak-kuutio



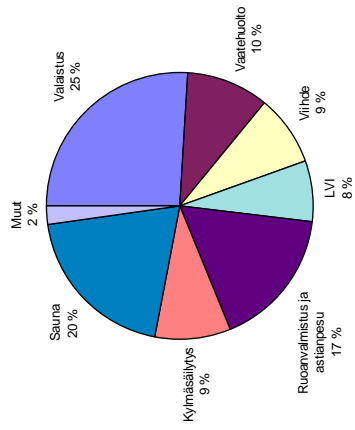
Kuva 1. Asuinkeuhastalon sähkönkulutusjakaumat luokissa A, D ja G. Luokka D edustaa nykyistä kulutustasoa.

LIITE 6. ASUINPIENTALON KULUTUSLUOKITTELUN LASKENTA

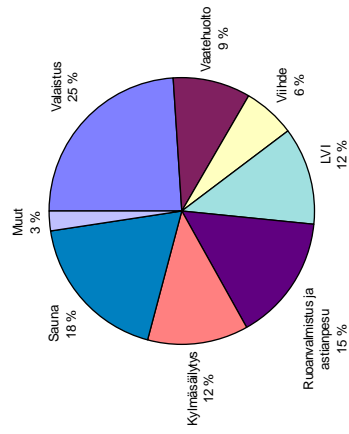
Taulukko 1. Asuinpientalon kulutusluokittelun laskenta

Pientalo 450 m ³ , 150 br-m ² , 1 asunto, 4 asukasta				Luokittelutasot				Vuosikulutukset (kWh)			
Laiteryhmä	Palvelumäärä	Palveluyksikkö	Käyttöaika (h/a)	A	D	G	yks	A	D	G	
Valaistus								1 120	1 400	1 680	
Asunnot	1	asuntoa		907	1 133	1 360	kWh/asunto.a	907	1 133	1 360	
Kiinteistö	450	rak-m ³		0,5	0,6	0,7	kWh/a.m ³	214	268	321	
Vaatehuolto								440	540	650	
Pyykinpesu	1	kpl		196	244	293	kWh/kpl.a	196	244	293	
Kuivausrumpu	1	kpl		240	300	360	kWh/kpl.a	240	300	360	
Viihde								375	375	375	
TV	1	kpl		200	200	200	kWh/kpl.a	200	200	200	
Video	1	kpl		95	95	95	kWh/kpl.a	95	95	95	
PC	1	kpl		80	80	80	kWh/kpl.a	80	80	80	
LVI								330	700	1 180	
Poisto-IV	0,05	m ³ /s	8760	3 942	8 760	15 768	kWh/(m ³ /s).a	197	438	788	
Patteriverkosto	0,15	l/s	8760	876	1 752	2 628	kWh/(l/s).a	131	263	394	
Ruuanvalmistus ja astiainpesu								740	900	1 050	
Liesi	1	kpl		419	523	628	kWh/kpl.a	419	523	628	
Mikroaaltouuni	1	kpl		55	55	55	kWh/kpl.a	55	55	55	
Kahvinkeitin	1	kpl		70	70	70	kWh/kpl.a	70	70	70	
Astiainpesukone	1	kpl		200	250	300	kWh/kpl.a	200	250	300	
Kylmäsiilytys								390	710	890	
Jää-viileäkaappi	1	kpl		182	331	414	kWh/kpl.a	182	331	414	
Kaappipakastin	1	kpl		209	380	476	kWh/kpl.a	209	380	476	
Sauna	124	lämmityskertaa/a		6,92	8,65	10,38	kWh/kerta	857	1 070	1 290	
Muut								100	150	200	
Autopaikat	1	kpl		100	150	200	kWh/paikka	100	150	200	
				4 350	5 850	7 320		4 350	5 850	7 320	
				9,7 kWh/m³	13,0 kWh/m³	16,3 kWh/m³		9,7 kWh/m³	13,0 kWh/m³	16,3 kWh/m³	

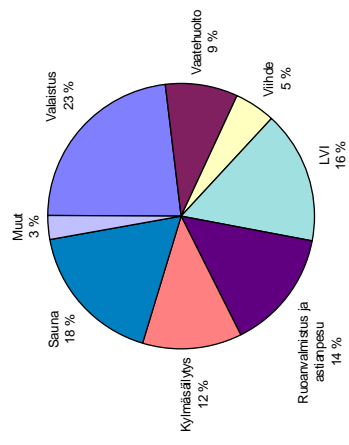
Pientalo A-luokka, kokonaiskulutus 9,7 kWh/rak-kuutio



Pientalo D-luokka, kokonaiskulutus 13 kWh/rak-kuutio



Pientalo G-luokka, kokonaiskulutus 16,3 kWh/rak-kuutio



Kuva 1. Asuinpienitalon sähkönkulutusjakaumat luokissa A, D ja G. Luokka D edustaa nykyistä kulutustasoa.

JULKAISUN ESITTELYTEKSTI

Sarjanimeke	Sarjanumero	Vuosi 1996
Tekijät Shemeikka, Jari; Kosonen, Risto; Hoving, Patrick; Laitila, Päivi; Pihala, Hannu & Laine, Tuomas.		
Julkaisun nimi Rakennuksen sähköenergiankulutuksen tavoitearvot		
Sivuja 123	Liitesivuja 9	ISBN
Esittelyteksti Julkaisussa esitellään menetelmä sähkölaiteryhmittäisten tavoitekulutusarvojen määrittämiseen ja sähkökuormien tunnistamiseen summamittauksella. Rakennuksen eri sähkölaiteryhmille esitellään ehdotukset kulutusluokitteluiksi, joissa laiteryhmien kulutukset on normitettu niiden tuottamaa palvelua kohti. Rakennuksen sähkönkulutuksen tavoitearvo voidaan laskea, kun tunnetaan rakennuksen tarvitsemat palvelut ja sähkölaiteryhmien kulutusluokittelut. Julkaisussa esitetään tunnuslukuja sähkönkäytön välillisille vaikutuksille rakennusten lämmitykseen ja jäähdytykseen. Sähkölaitteet tuottavat toimiessaan rakennukseen lämpökuorman, joka lämmityskaudella voidaan hyödyntää osittain lämmityksessä. Mikäli rakennuksessa esiintyy jäähdytystarvetta, sähkölaitteiden tuoma lämpö joudutaan poistamaan koneellisella jäähdytyksellä.		