



Mikko Niemelä

Ylläpidon vaikutus toimistorakennuksien energiankulutukseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma, LVI-suunnittelu

Insinöörityö

31.1.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Mikko Niemelä
Otsikko:	Ylläpidon vaikutus toimistorakennuksien energiankulutukseen
Sivumäärä:	38 sivua + 2 liitettä
Aika:	31.1.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	LVI-suunnittelu
Ohjaajat:	Yliopettaja Rauno Holopainen Innovaatiojohtaja Heikki Ihasalo

Insinööriyössä tutkittiin teknisiltä ominaisuuksiltaan mahdollisimman samankaltaisten toimistorakennuksien käytönaikaiseen energiakulutukseen vaikuttavia tekijöitä. Rakennusten energiatehokkuuteen oleellisesti vaikuttavien ominaisuuksien määrittäminen, muun muassa rakenteiden lämmöneristävyys ja tiiviys, jäähdytys- ja lämmitys- muodon ja sisäilmastoluokan perusteella oli ensiarvoisen tärkeää, jotta rakennusten energiankulutus olisi mahdollisimman yhteneväistä.

Insinööriyössä käytettävät tekniset tiedot kerättiin 55 toimistorakennuksesta. Näistä rakennuksista 11 valittiin tutkimukseen tarkempien määritysten perusteella. Tutkittavia ja keskenään vertailtavia eri tekijöitä olivat kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanat, olosuhteiden pysyvyydet, tehtyjen palvelupyyntöjen määrät ja rakennusten kokonaisenergioiden ominaiskulutukset. Pääpaino vertailussa oli kokonaisenergian ominaiskulutuksien vaikutuksessa muihin tekijöihin, mutta myös muiden tekijöiden vaikutusta vertailtiin toisiinsa. Vertailu tehtiin järjestämällä rakennukset jokaisen tekijän osalta suuruusjärjestykseen, jotta mahdolliset eri tekijöiden väliset suhteet voitaisiin havaita kuvaajista. Lisäksi vertailtaville tekijöille tehtiin tilastollinen testaus t-testillä ja korrelaatioanalyysillä.

Vertailuissa havaittiin, että hajonta oli suurta lähes kaikkien vertailtavien tekijöiden kesken. Merkittävin korrelaatio oli rakennusten kokonaisenergian ominaiskulutusten ja olosuhteiden pysyvyyden välillä. Kokonaisenergian ominaiskulutuksien kasvaessa rakennusten olosuhteiden pysyvyydet heikkenivät. Tulosten perusteella voidaan havaita, että rakennusten sisäilman olosuhteiden pitäminen suunnitelmien mukaisissa raja-arvoissa on rakennusten energiankulutuksen kannalta järkevää.

Avainsanat: kokonaisenergia, ominaiskulutus, palvelupyyntö, laatuauditointi, olosuhteet, t-testi, korrelaatio

Abstract

Author: Mikko Niemelä
Title: Impact of Maintenance on Energy Consumption of Office Buildings
Number of Pages: 38 pages + 2 appendices
Date: 31 January 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Design
Supervisors: Heikki Ihasalo, Chief innovation officer
Rauno Holopainen, Principal Lecturer

The thesis studied factors influencing the operational energy consumption of office buildings with similar technical characteristics. It was important to identify features that significantly affect the energy efficiency of buildings to ensure consistent energy consumption of the buildings.

Eleven buildings were studied. The factors studied and compared were the results of property maintenance quality audits, the stability of indoor air quality conditions, the number of service requests, and the combined specific energy consumption. Especially, the impact of combined specific consumption on other factors, but also the influence of other factors on each other were studied. The comparisons were made by ranking the buildings according to each factor so that potential relationships between different factors could be observed from the graphs. Statistical testing with t-tests and correlation analysis was also performed for the factors.

The comparisons showed significant variation among almost all the factors. The most significant correlation was between the combined specific energy consumption of buildings and the stability of indoor air conditions: increasing combined specific energy consumption meant weakened stability of indoor air conditions. Based on the results, it seems that maintaining indoor air conditions within planned limit values is good for the energy consumption of buildings.

Keywords: combined energy consumption, specific consumption, service request, quality audit, indoor air condition, t-test, correlation

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Opinnäytetyön tavoitteet	3
3	Tutkimuskohteet ja -menetelmät	3
3.1	Rakennusvuoden määrittäminen	4
3.2	Lämmitys- ja jäähdytysmuotojen määrittäminen	5
3.2.1	Lämmitysmuoto	5
3.2.2	Jäähdytysmuoto	5
3.3	Muiden tekijöiden määrittäminen	5
3.3.1	Rakennusten käyttöajat ja käyttöasteet	5
3.3.2	Energiankulutuksien vertailtavuus	6
3.3.3	Olosuhteiden pysyvyys	8
3.3.4	Kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosana	9
3.3.5	Palvelupyynnöt	10
3.4	Tutkimukseen valitut rakennukset ja vertailumenetelmät	10
4	Vertailutulokset	12
4.1	Vertailu kokonaisenergian ominaiskulutukseen	12
4.2	Vertailu tehtyjen palvelupyyntöjen määrään	17
4.3	Vertailu kiinteistöhoito laatuauditoinnin arvosanoihin	22
4.4	Vertailu olosuhteiden pysyvyyksiin	26
4.5	Laajennettu vertailu	30
5	Pohdintaa	34
6	Yhteenveto	36
	Lähteet	38
	Liitteet	
	Liite 1: Vertailutuloksien kuvaajia	
	Liite 2: Korrelaatiomatriisit	

1 Johdanto

Rakennusten energiatehokkuus on tärkeää. Energiatehokkaat rakennukset vähentävät osaltaan energiankulutusta ja siten myös kasvihuonepäästöjä. Energiatehokkuudesta on hyötyä niin taloudellisesti kuin ympäristön kannalta. Uusille rakennuksille ja niiden teknisille järjestelmille asetettujen energiatehokkuusvaatimusten myötä uudet rakennukset ovat usein energiatehokkaampia kuin vanhat rakennukset. Koska rakennuskannan uusiutuminen on verrattain hidas, nykyisen rakennuskannan energiatehokkuuden parantaminen vaatii olemassa olevien rakennusten energiatehokkuuden parantamista. Nykyisen rakennuskannan energiatehokkuuden parantaminen on mahdollista energiatehokkuushankkeilla ja rakennusten talotekniikkajärjestelmien energiatehokkaamalla käytöllä.

Noin 40 % EU:n energian kokonaiskulutuksesta aiheutuu muun muassa rakennuksien lämmittämisestä, jäähdyttämisestä, ilmanvaihdosta, valaistuksesta sekä muiden talotekniikkajärjestelmien käytöstä. Vuonna 2022 Suomessa rakennusten lämmitykseen kului noin 27 % energian kokonaiskulutuksesta, mikä vastaa energiamäärässä noin 80 terawattituntia (TWh). Energiateollisuus puolestaan aiheuttaa suurimman osan Suomen kasvihuonepäästöistä. (1.)

Suurin osa rakennuksen energiankulutuksesta muodostuu käytön aikana. Rakennuksien energiankulutukseen vaikuttavat useat eri tekijät, kuten rakenteiden lämpöhäviöt ja tiiviys, käyttötarkoitus ja käyttöaste sekä lämmitys- ja jäähdytysmuodot. Näiden lisäksi talotekniikkajärjestelmien säätötavoilla, rakennusten suunnitelmien mukaisella ja tarpeenmukaisella käytöllä on suuri vaikutus rakennusten energiankulutukseen. Tampereen ja Oulun yliopistojen yhteistyössä tekemän tutkimuksen mukaan sisäilman laadussa ei havaittu merkittäviä muutoksia, kun ilmanvaihto pysäytettiin tutkituissa koulu- ja päiväkotirakennuksissa käyttöaikojen ulkopuolella. Tutkituissa rakennuksissa saavutettiin lisäksi keskimäärin noin 26 % säästöt lämmitysenergian kulutuksessa. (2, s. 6.)

Motiva on laatinut tilastoja toimistorakennuksien energiakatselmuksista, ja niiden perusteella toimistorakennuksien säästöpotentiaali on sähkön osalta noin 10 %, lämmön osalta noin 16 % ja veden osalta noin 7 % (3). Energiakatselmuksissa havaituissa säästömahdollisuuksista osa on toteuttavissa ilman tai lähes ilman investointeja. Kuvassa 1 on esitetty energiakatselmuksissa esiin tulleita energiasäästötoimenpiteitä, joista suurimman säästöpotentiaalini muodostaa ilmanvaihdon käyntiajat, jonka takaisinmaksuaika on myös lyhyin eli 0,3 vuotta. (3.)

Yleisimmät toimistorakennusten energiakatselmuksissa havaitut energiasäästötoimet

Havaitut energiasäästötoimet*	Ehdotettu energiansäästötoimeksi yhteensä, krt	Keskimääräinen kustannussäästö, €/a	Keskimääräinen investointi, €	Keskimääräinen takaisinmaksuaika, a
Ilmanvaihdon käyntiajat	1 099	2 600	900	0,3
Sisä- ja ulkovaletus	839	1 200	3100	2,6
Vesikalusteiden virtaaman rajoitus	319	600	800	1,4
Ilmanvaihdon lämmityksen säätötavat	307	900	1 600	1,9
Sähköiset lämmitykset	243	900	1 000	1,1
Lämmönalteenoton mahdollisuudet	219	3000	14 000	4,8
Säätöjen parantaminen	196	1 200	4 700	3,9
Muut sähkölaitteet	161	1 600	1 000	0,6
Sisälämpötilan alentaminen	151	1 500	1 600	1,1
Tariffin ja jännitteen tarkistus ja loistehon kompensointi	135	2 200	1 300	0,6

*Katselmoituissa noin 570 toimistorakennuksessa.
Kaikkiaan Suomessa on energiakatselmoitu liki 1 300 toimistorakennusta.

Kuva 1. Yleisimmät toimistorakennusten energiakatselmuksissa havaitut energiasäästötoimet (3).

Insinööriyössä selvitetään teknisiltä ominaisuuksiltaan samankaltaisten toimistorakennusten käytönaikaiseen energiakulutukseen vaikuttavia tekijöitä. Opin- näytetyön tilaajana toimi Granlund Oy. Granlund Oy on kiinteistö- ja rakennus- alalla toimiva asiantuntijakonserni, joka työllistää yli 1400 henkilöä Suomessa

27 toimipisteessä. Opinnäytetyö tulee mahdollisesti toimimaan esiselvityksenä tuleville Granlund Oy:ssä tehtäville opinnäytetöille, joissa on tarkoitus tutkia rakennusten energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä eri näkökulmista.

2 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on löytää tutkittavien toimistorakennuskohteiden energiankulutuksista, sisäolosuhteista, huoltopyyntöjen määrästä ja laatuauditoinnin arvosanoista yhteisiä tekijöitä energiatehokkaiden ja energiatehottomien rakennusten välillä. Jos yhdistäviä tekijöitä löytyy, voidaan tietoja mahdollisesti käyttää luotaessa uusia mittareita Granlund Manager -ohjelmistoon. Tietojen pohjalta voidaan ohjata rakennusten ylläpito- ja omistajaosapuolet tekemään toimenpiteitä ja ohjata kiinteistönomistajien toimintaa.

Energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä tutkitaan käytössä olevien tietojen pohjalta. Tutkittavia tekijöitä ovat energiankulutus, huoltoilmoitusten lukumäärä, kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosana (Granlund Manager -mittari) ja rakennusten sisäilman olosuhteiden pysyvyys. Opinnäytetyön tietolähteenä on Granlund Manager -huoltokirja ohjelmisto, ja rakennuskantana käytettiin erään Suomen suurimman kiinteistöomistajan kiinteistösalkkua.

3 Tutkimuskohteet ja -menetelmät

Tutkimuskohteiksi valittiin kiinteistösalkusta sellaisia toimistorakennuksia, joiden sisäilmastoluokka, lämmitys- ja jäähdytysmuodot, rakennusvuosi ja käyttöajat ovat mahdollisimman yhteneväiset. Alkumääritysten perusteella valittiin yhteensä 55 toimistorakennusta, joista tarkempien tarkasteluiden jälkeen jäi vertailuun 11 toimistorakennusta. Käytettävissä oleva rakennuskohtainen aineisto koostui rakennuksen paikkakunnasta, valmistumis- ja peruskorjausvuodesta, lämpimästä rakennustilavuudesta, koko rakennuksen normeeratusta kaukolämmön kokonaisvuosikulutuksesta, koko rakennuksen sähkön kokonaisvuosikulutuksesta, koko rakennuksen veden kokonaisvuosikulutuksesta, olosuhteiden

pysyvyydestä, huoltopyyntöjen vuosittaisesta lukumäärästä ja kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanasta.

3.1 Rakennusvuoden määrittäminen

Rakennusluvan vireilletulo vuoden määrittäminen on tärkeää, jotta rakenteiden lämmönläpäisykerroinvaatimukset ja samalla rakennuksen rakennusosien lämpöhäviöt ovat mahdollisimman samanlaisia. Kuvassa 2 on esitetty rakennusten lämmönläpäisykertoimien (U-arvojen) suunnitteluarvot vuosien 1975–2010 aikana.

	1975	1978	1985	2003	2007	2010
Ulkoseinä	0,40	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17
Yläpohja	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09
Alapohja	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16
Ikkuna	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0
Ovi	-	-	-	1,4	1,4	1,0

Kuva 2. Olemassa olevien rakennusten lämmönläpäisykertoimien (U-arvojen) suunnitteluarvoja ($W / (m K)$) vuosina 1975–2010 (4, s. 5–10).

Mahdollisimman monen rakennuksen saaminen vertailuun edellyttää, että rakentamismääräysten U-arvovaatimusten muutoksien välillä on mahdollisimman pitkä aika. U-arvovaatimukset pysyivät pisimpään samoina vuosina 1985–2002. Kumotun ja käytöstä poistuneen rakentamismääräyskokoelman osan C3 - Rakennusten lämmöneristys päivitettiin vuonna 1985 ja seuraavan kerran vuonna 2003. (4, s. 5–10.)

Tietolähteinä toimivia rakennuksia oli 55 kappaletta, joista U-arvovaatimusten perusteella 30 rakennusta jätettiin tässä vaiheessa rakennusvuosien perusteella pois vertailusta.

3.2 Lämmitys- ja jäähdytysmuotojen määrittäminen

3.2.1 Lämmitysmuoto

Koska kaikkien tutkittavien rakennusten tuli olla mahdollisimman samanlaisia energiatehokkuuteen vaikuttavien tekijöiden osalta, lämmitysmuodoksi määritettiin yleisimmin toimistorakennuksissa käytössä oleva lämmitysmuoto eli kaukolämpö. Lähtötietoaineiston kaikkien 55 rakennuksen lämmitysmuotona oli kaukolämpö.

3.2.2 Jäähdytysmuoto

Jäähdytysmuoto määriteltiin sen mukaan, millä jäähdytysmuodolla on eniten toteutettu rakennusten jäähdytyksiä tietolähteinä toimivissa rakennuksissa. Jäähdytysmuodoksi valikoitui vedenjäähdytyskoneet, koska vedenjäähdytys oli rakennuksissa selvästi eniten käytetty jäähdytysmuoto. Vedenjäähdytyskoneilla varustettuja rakennuksia oli 40 kappaletta ja kaukojäähdytyksellä varustettuja rakennuksia taas 15 kappaletta. Tietoja jäähdytyskoneiden käyttämästä sähköenergian kulutuksesta ei ollut saatavilla, joten tämä jätettiin vertailussa huomiotta.

3.3 Muiden tekijöiden määrittäminen

Vertailtavat tekijät määriteltiin saatavilla olevan tietolähteen perusteella. Kaikkia haluttuja tutkittavia tietoja ei ollut saatavilla keskitetysti. Tällaisia olivat muun muassa huolto- ja pienkorjaustöiden vuosikustannukset, päivystyskäyntien lukumäärä vuositasolla, käyttäjätyytyväisyyskyselyt ja rakennusautomaatiojärjestelmien tiedot.

3.3.1 Rakennusten käyttöajat ja käyttöasteet

Rakennusten käyttöajat ja käyttöasteet vaikuttavat energiankulutukseen erityisesti rakennuksissa, joissa taloteknisten järjestelmien toiminta ja ohjaukset ovat

tarpeenmukaistettu. Yleisesti esimerkiksi riittävä ilmanvaihto yöaikaan ja viikonloppuisin saadaan aikaiseksi joko ilmanvaihtokoneiden osatehoilla tai erillispoistoilmapuhaltimilla. Saatavilla olleissa tiedoissa rakennukset olivat jaettu normaalin käyttöajan rakennuksiin ja pitkän ja jatkuvan käytön rakennuksiin. Vertailusta jätettiin pois yhteensä 11 pitkän ja jatkuvan käytön rakennusta, koska näiden rakennuksien vertailu normaalissa käytössä oleviin rakennuksiin ei olisi ollut riittävän luotettavaa. Tehdyssä esivertailussa pitkän ja jatkuvan käytön rakennukset olivat mukana, mutta ne sijoittuivat poikkeuksetta kokonaisenergian ominaiskulutuksiltaan heikoimpien rakennusten joukkoon.

3.3.2 Energiankulutuksien vertailtavuus

Jotta rakennusten energiankulutuksia voidaan riittävällä luotettavuudella vertailla, tulee energiankulutukset muuntaa vertailtavaan muotoon. Yleinen ja luotettavin tapa on laskea rakennuksille ominaiskulutukset (kWh/m³) kunkin kulutuslajin osalta. Ominaiskulutuksen laskentaan tarvitaan rakennuksen vuosikulutukset valittujen kulutuslajien osalta ja rakennuksen lämpimien ja puolilämpimien tilojen tilavuustiedot.

Tutkittavat energialajit olivat lämmitys- ja sähköenergia. Lämmitys- ja sähköenergian ominaiskulutukset yhdistettiin, jotta vertailussa voitiin käyttää sähkö- ja lämmitysenergian yhdistettyä ominaiskulutusta eli kokonaisenergian ominaiskulutusta. Kaukolämmön normitettu kulutus ja sähkön kulutus olivat saatavilla vuosikulutuksina vuosilta 2018–2022. Kaukolämmön kulutuksen yksikkönä käytetään megawattitunteja (MWh) ja sähkön osalta kilowattitunteja (kWh). Kaukolämmön kulutus tuli muuntaa ominaiskulutuksia tarkasteltaessa kilowattitunteiksi. Koska lämpimän käyttöveden määrää ei tutkittavissa rakennuksissa ole mitattu, on lämpimän käyttöveden kuluttama kaukolämmön energia arvioitu kaukolämmön kokonaiskulutuksesta. Arvioitu osuus ei kuitenkaan vastaa todellista lämpimän käyttöveden kulutusta. Koska veden kulutus on puhtaasti käyttäjäriippuvaista, kaukolämmön kulutuksista poistettiin kokonaisenergian ominaiskulutuksia laskettaessa arvioitu käyttöveden lämmitykseen käytetty kaukolämpöenergia.

Kaukolämmön kulutustiedot olivat saatavilla ainoastaan normeerattuna. Saatavilla olleet normitetut kaukolämmön kulutukset oli laskettu kuvassa 3 esitetyn Motivan ohjetta Kulutuksen normitus: Laskentakaavat ja -ohjeet -liitteen kaavaa 1 käyttäen (5, s. 3).

KAAVA 1: Saman rakennuksen energiankulutuksen vertailu eri ajankohtina

Samana rakennuksen energiankulutuksen vertailu eri ajankohtina. Kaavalla 1 laskettu arvo ei ole vertailukelpoinen muilla paikkakunnilla olevien rakennusten kulutuksiin ilman korjauskertoimien käyttöä.

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} \times Q_{toteutunut} + Q_{lämmin\ käyttövesi}$$

Huom. Normitus koskee vain rakennuksen lämmittämiseen kuluva energiaa. Säästä riippumaton käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia on ensin poistettava rakennuksen kokonaislämmitysenergian kulutuksesta eli

$$Q_{toteutunut} = Q_{kok} - Q_{lämmin\ käyttövesi}$$

Kaavan selitteet:

Q_{norm}	rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus
$Q_{toteutunut}$	rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia
Q_{kok}	rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutus
$Q_{lämmin\ käyttövesi}$	käyttöveden lämmittämisen vaatima energia. Lue lisätietoja kohdasta: Laskukaavat: lämmin käyttövesi
$S_{N\ vpkunta}$	normaalivuoden tai -kuukauden (1991–2020) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla
$S_{toteutunut\ vpkunta}$	toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla

Kuva 3. Kaukolämmön normeerauksen kaava rakennuksien lämmitysenergian kulutuksien vertailuun eri ajankohtina (5, s. 3).

Tällä tavoin normitettuna rakennuksien kaukolämmön kulutustiedot ovat vertailukelpoisia eri ajankohtina saman rakennuksen osalta eli kulutuksia ei voida tällöin vertailla keskenään eri paikkakunnilla sijaitsevien rakennusten välillä. Erityisen tärkeää oli selvittää rakennuksien absoluuttinen kaukolämmönkulutus ja normeerata kaukolämmönkulutus käyttäen vertailupaikkakuntana Jyväskylää, jotta tutkittavien rakennuksien kaukolämmön kulutuksia voitiin vertailla keskenään (kuva 4).

KAAVA 2: Eri puolilla Suomea sijaitsevien rakennusten kulutusten vertailu

Kun kulutukset normeerataan valtakunnalliseen vertailupaikkakuntaan Jyväskylään, voidaan esim. eri puolilla maata sijaitsevien rakennusten lämmitysenergian ominaiskulutuksia verrata toisiinsa.

Rakennuksen normeerattu energiankulutus valtakunnalliseen vertailupaikkakuntaan Jyväskylään saadaan vuosi- tai kuukausitasolla seuraavasti:

$$Q_{norm} = k_2 \times \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} \times Q_{toteutunut} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$$

Kaavan selitteet:

k_2	Paikkakunta-kohtainen korjauskerroin Jyväskylään.
$S_{N\ vpkunta}$	Normaalivuoden tai -kuukauden (1991–2020) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla.
$S_{toteutunut\ vpkunta}$	Toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla.

Kuva 4. Kaukolämmön normeerauksen kaava rakennusten energiankulutuksia vertailtaessa Jyväskylään (5, s. 4).

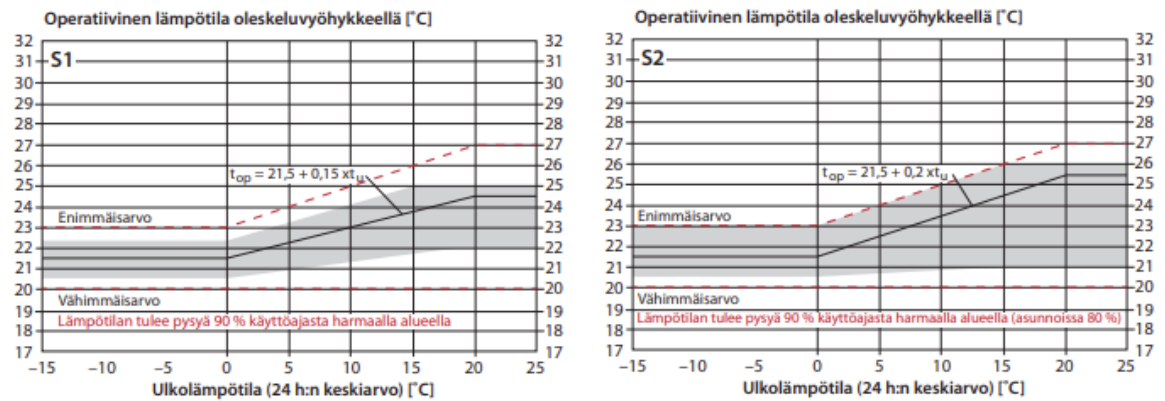
Kaukolämmön energiankulutus normeerattiin vertailupaikkakunta Jyväskylään, jolloin lämpimän käyttöveden laskennallisena osuutena käytettiin 30 % veden rakennuskohtaisesta kokonaiskulutuksesta. Laskennallisesta lämpimän käyttöveden kulutuksesta voidaan laskea kaukolämmön kulutus (Q_{lkv}) kaavalla $Q_{lkv} = 58 \times V_{av}$, jossa 58 on veden lämmittämiseen tarvittu energia (kWh) kuutiota kohden, kun lämpötilaero on 50 Celsiusastetta ($^{\circ}\text{C}$) ja V_{av} on lämpimän käyttöveden kulutus (m^3). (5, s. 7.)

Lämpimän käyttöveden tuottamiseen käytettyyn kaukolämmön energiaan käytettiin eri laskentamenetelmää kuin sen laskemiseen alun perin. Eri laskentamenetelmää käytettiin, jotta lämpimän käyttöveden energiankulutus noudattaisi Motivan ohjetta lämpimän käyttöveden energiakulutuksen arvioinnista.

3.3.3 Olosuhteiden pysyvyys

Olosuhteiden pysyvyydellä tarkoitetaan rakennuksien sisäilmaolosuhteiden pysymistä käyttöaikoina määritellyn sisäilmastoluokan olosuhterajoissa. Olosuhteiden pysyvyyden arvosanat olivat saatavilla yhteensä 45 rakennuksesta.

Olosuhteiden pysyvyyden arvosana perustuu rakennusautomaatiosta ja erillisistä olosuhdemittausjärjestelmistä saatujen lämpötilojen ja hiilidioksidipitoisuuksien ajalliseen pysyvyyteen määritellyn sisäilmastoluokan (S1, S2 tai S3) tavoitearvojen sisällä (kuva 5).



Kuva 5. Sisäilmaluokkien S1 ja S2 operatiivisen lämpötilan tavoitearvot (6, s. 6).

Olosuhteiden pysyvyyden asteikko on 0–100, jossa arvosana 0 tarkoittaa, etteivät olosuhteet ole olleet kertaakaan määritettynä aikana sisäilmaluokan määrittämien tavoitearvojen sisällä, ja arvosana 100 puolestaan tarkoittaa, että olosuhteet ovat pysyneet koko määritellyn ajanjakson ajan määritetyn sisäilmastoluokan tavoitearvojen sisällä. Tutkittavien rakennusten osalta sisäilmastoluokka oli S2.

3.3.4 Kiinteistöhoidon laatuauditoinnin arvosana

Kiinteistöhoidon laatuauditoinnin arvosana on sähköisen huoltokirjan ominaisuus. Laatuauditointeja suorittavat Granlundin tai asiakkaan asiantuntijat, jotka arvioivat eri osa-alueet asteikolla 1–5. Asteikot määritetään asiakkaiden kanssa yhdessä eri osa-alueille. Arvosanoista heikoin on 1, joka yleisesti tarkoittaa, etteivät jonkin tarkastettavan osa-alueen vaatimukset ole täyttyneet riittäväällä tasolla. Arvosanoista taas paras on 5 ja se saavutetaan, kun tarkastettavan osa-alueen vaatimukset täyttyvät täysin. Granlund Managerin Kiinteistöhoidon laatuauditoinnin arvosana määräytyy siis kiinteistöhuollolle määritettyjen tehtävien

toteutuneen suoritustason perusteella. Arvosana toimii osana asiakkaan kiinteistöhoitosopimuksen palkkio-sanktiomallia.

3.3.5 Palvelupyynnöt

Palvelupyynnöillä tarkoitetaan rakennuksen sähköiseen huoltokirjaan, Granlund Manageriin, kirjattuja huoltopyyntöjä. Palvelupyyntöjen osalta saatavilla olevaa tietoa oli palvelupyyntöjen lukumäärä vuositasolla. Palvelupyyntöjen lukumäärä on ilmoitettu kokonaismääränä vuositasolla, eikä niitä ole lajiteltu palvelupyyntölajien perusteella. Jotta palvelupyyntöjen määrät olisivat keskenään vertailtavissa, palvelupyyntöjen määrä päädyttiin määrittämään rakennuspinta-alan perusteella. Sopivaksi jakajaksi määrittyi 1000 m² (kpl/1000 m²/a), jotta palvelupyynnöissä lukumäärät pysyisivät kohtuullisina ja palvelupyyntöjen määrät olisivat helposti vertailtavissa muiden eri tekijöiden kanssa.

3.4 Tutkimukseen valitut rakennukset ja vertailumenetelmät

Tutkimukseen valittiin ainoastaan rakennukset, joilla oli yhteneväiset tekniset ominaisuudet, lämmitys- ja jäähdytysmuodot ja historiatiedot saatavilla vuosilta 2018–2022. Lähdeaineisto sisälsi 55 rakennusta, joista karsiutui yhteensä 44 rakennusta. Näin ollen varsinaiseen vertailuun otettiin 11 rakennusta. Rakennukset sijaitsivat eri puolilla Suomea ja rakennuksista pohjoisin rakennus sijaitsee Rovaniemellä ja eteläisin Vantaalla. Rakennukset on nimetty sijaintipaikkakuntien perusteella, ja muilta osin rakennukset haluttiin pitää anonyymeinä.

Vertailtavat tiedot olivat sähkön ja kaukolämmön yhteenlasketut kokonaisenergian ominaiskulutukset (kWh/m³), olosuhteiden pysyvyys (0–100), kiinteistöhoitoon laatuauditoinnin arvosana (1–5) ja palvelupyyntöjen kappalemäärä (kpl/1000 m²). Rakennuksittain kunkin vertailtavan tiedon osalta vertailuissa käytettiin vuosien 2018–2022 keskiarvoja, jotta mahdolliset poikkeamat saatiin tasoitettua vertailtavista vuosikohtaisista tiedoista. Tekijöiden välisiä korrelaatioita tutkittiin useamman muuttujan kahden välisellä regressioanalyysillä. Tämä tehtiin jokaiselle neljästä vertailtavista tekijöistä siten, että rakennukset järjestettiin

jokaisen tekijän osalta suuruusjärjestykseen ja vertailtiin kunkin tekijän kehittymistä suhteessa kyseiseen tekijään. Pääpainona oli vertailla kokonaisenergian ominaiskulutuksien vaikutusta muihin tekijöihin. Tällä vertailumenetelmällä saatiin karkea kuva siitä, miten eri tekijät vaikuttivat toisiinsa vai vaikuttivatko mitenkään. Kullekin vertailtavalle tekijälle tehtiin lisäksi tilastollinen testi eli t-testi viiden parhaan ja viiden heikoimman rakennuksen välille ja korrelaatioanalyysi koko vertailujoukon arvoille.

T-testillä lasketaan, eroavatko testattavat ryhmät tilastollisesti toisistaan. Tulos ilmaistaan p-arvolla. Jos p-arvo on pienempi tai yhtä suuri kuin 0,05, havaittu ero testattavien ryhmien välillä on tilastollisesti melkein merkitsevä. Jos p-arvo on alle 0,01, ero on tilastollisesti merkitsevä. Testattavat ryhmät eroavat tilastollisesti erittäin merkitsevästi toisistaan, jos p-arvo on alle 0,001. (7.)

Korrelaatioanalyysi kuvaa kunkin tekijän kahdenvälistä lineaarista riippuvuutta toisiinsa korrelaatiokertoimella. Tuloksissa on huomioitava, että Pearsonin korrelaatiokerroinmenetelmällä tutkitaan lineaarista riippuvuutta ja eikä korrelaatiokerroin ota huomioon esimerkiksi eksponentiaalista korrelaatiota. Korrelaatiokertoimien arvot ovat arvojen -1 ja $+1$ välillä, ja riippuvuudet tulkitaan siten, että jos arvo on 0, niin tekijöiden välillä ei ole riippuvuutta, jos itseisarvo on alle 0,4, niin korrelaatio on heikkoa, jos korrelaatiokertoimen itseisarvo on 0,4–0,6 välillä, niin korrelaatio on kohtalainen, jos korrelaatiokertoimen itseisarvon on 0,6–0,8 välillä, niin korrelaatio on voimakas ja jos korrelaatiokertoimen itseisarvon on suurempi, kuin 0,8, niin korrelaatio on erittäin voimakasta. Positiivinen korrelaatiokerroin ilmaisee kahden muuttujan välistä suhdetta, jossa molempien muuttujien arvot kasvavat toisen kasvaessa. Negatiivinen korrelaatiokerroin ilmaisee kahden muuttujan välistä suhdetta, jossa toisen muuttujan kasvaessa toinen pienenee. Korrelaatiokertoimen ollessa itseisarvoltaan 1, on tekijöiden välillä suora riippuvuus. (8; 9, s. 1.)

Tietojen käsittely ja tilastolliset analyysit tehtiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. T-testi perustuu kahden riippumattoman keskiarvon erotukseen, ja usean muuttujan kahdenvälisiä korrelaatioita tutkittiin lineaarisella regressioanalyysillä.

Korrelaatiokertoimien laskennassa käytettiin Excel-taulukkolaskentaohjelman tietojen analyysi -toiminnon korrelaatiotoimintoa, jonka laskenta perustuu Pearsonin korrelaatiokertoimen laskentaan (liite 2, taulukot 1–2).

4 Vertailutulokset

Taulukossa 1 on esitetty korrelaatiomatriisi, jossa eri tekijöiden suhteet toisiinsa on kuvattu korrelaatiokertoimilla. Liitteen 2 sivulla 1 on esitetty korrelaatioanalyysin taulukkoarvot ja korrelaatiokertoimet korrelaatiomatriisin muodossa.

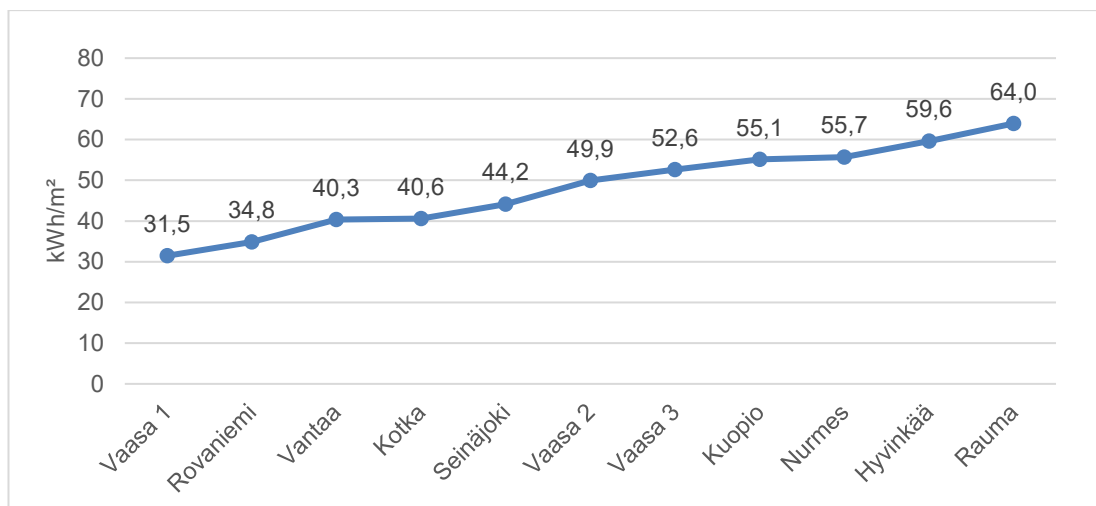
Taulukko 1. Korrelaatiomatriisi (liite 2, taulukko 1).

	<i>Ominaiskulutukset</i>	<i>Olosuhteiden pysyvyys</i>	<i>Palvelupyynnöt</i>	<i>KH. laatuaudit.</i>
Ominaiskulutukset	1,000			
Olosuhteiden pysyvyys	-0,469	1,000		
Palvelupyynnöt	0,270	-0,044	1,000	
KH. laatuaudit.	-0,371	0,058	0,038	1,000

Määrittelyt täyttävien rakennuksien osalta kolmen vertailtavan tekijän väliset suhteet erottuivat analyysissä muista. Kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja olosuhteiden pysyvyyksien välinen suhde (–0,469), kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja palvelupyyntöjen välinen suhde (0,270) ja kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja kiinteistöhoitoauditoinnin arvosanojen välinen suhde (–0,371). Näistä ainoastaan kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja olosuhteiden pysyvyyksien välillä oli korrelaatioanalyysin ohjearvojen perusteella (> 0,4), kohtalainen riippuvuus toisiinsa.

4.1 Vertailu kokonaisenergian ominaiskulutukseen

Kuvassa 6 on esitetty rakennusten järjestys kokonaisenergian ominaiskulutuksien mukaisesti.

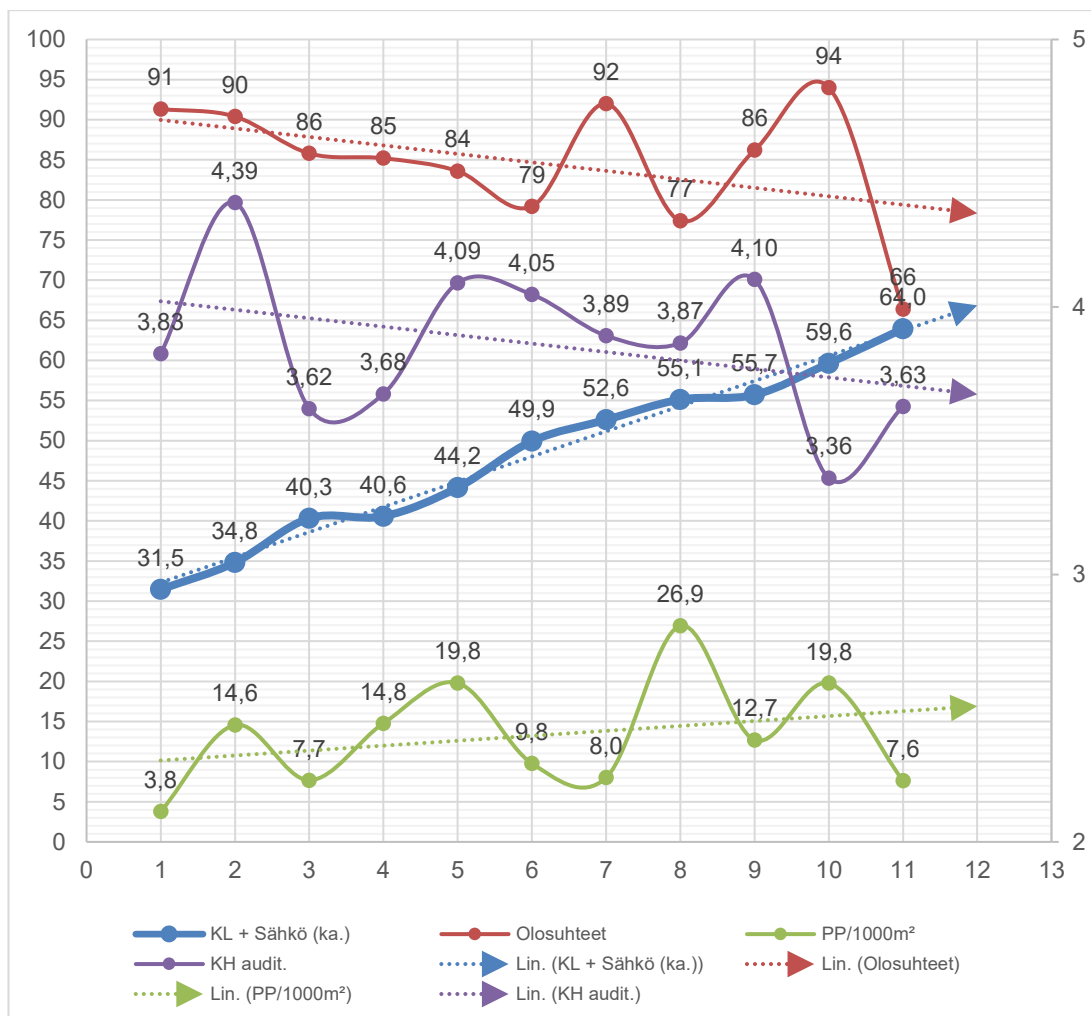


Kuva 6. Tutkittujen rakennusten kokonaisenergian ominaiskulutukset järjestettynä pienimmästä suurimpaan.

Järjestys pienimmästä suurimpaan oli seuraava; 1. Vaasa 1, 2. Rovaniemi, 3. Vantaa, 4. Kotka, 5. Seinäjoki, 6. Vaasa 2, 7. Vaasa 3, 8. Kuopio, 9. Nurmes, 10. Hyvinkää ja 11. Rauma. Kaikissa osion 4.4 vertailuissa rakennuksien järjestyksenä on käytetty samaa järjestystä, jotta kuvaajasta oli helposti havaittavissa olosuhteiden pysyvyyden muutoksien vaikutus vertailtavaan tekijään.

T-testin p-arvo viiden pienimmän ja suurimman kokonaisenergian ominaiskulutuksen välillä oli noin 0,0002, eli ero oli tilastollisesti erittäin merkittävä. Viiden pienimmän kokonaisenergian ominaiskulutuksen keskiarvo oli 38,2 kWh/m³ ja viiden suurimman kokonaisenergian ominaiskulutuksen keskiarvo oli 57,4 kWh/m³. Viiden pienimmän ja suurimman kokonaisenergian ominaiskulutuksen keskiarvojen ero prosentuaalisesti oli noin -3,3 %.

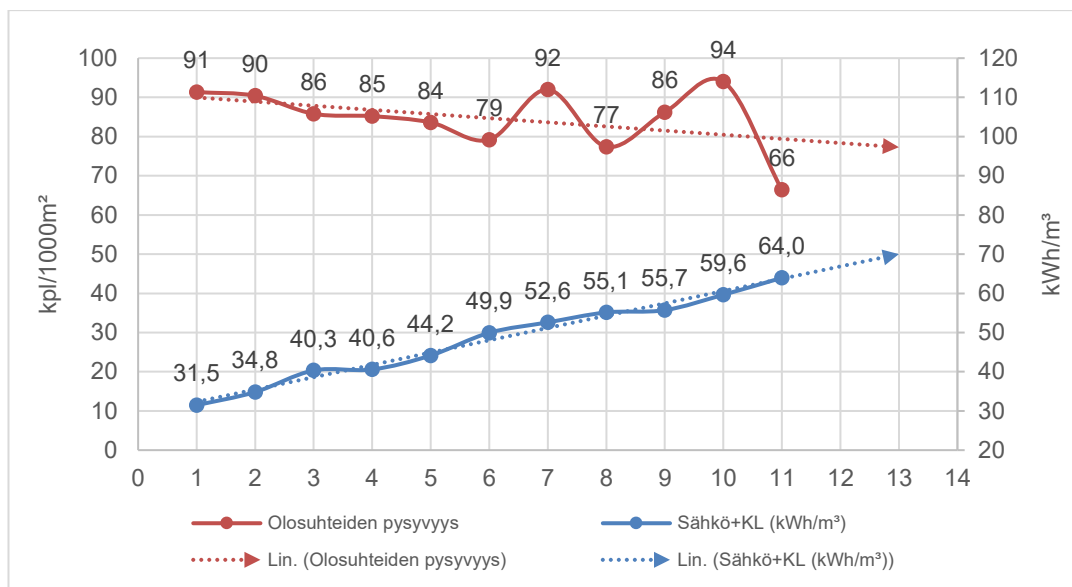
Kuvassa 7 on esitetty kaikkien vertailtujen tekijöiden pisteet rakennusten kokonaisenergian ominaiskulutuksien kasvaessa vasemmalta oikealle. Merkittävin negatiivinen korrelaatio oli kokonaisenergian ominaiskulutuksen ja olosuhteiden pysyvyyden välillä. Kokonaisenergian ominaiskulutuksien kasvaessa olosuhteiden pysyvyydet laskivat.



Kuva 7. Kokonaisenergian ominaiskulutuksien kasvun vaikutus muihin tekijöihin.

Myös kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanojen suunta on melko voimakkaasti laskevat, kun kokonaisenergian ominaiskulutukset kasvavat, kuten korrelaatioanalyysikin osoitti.

Kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja olosuhteiden pysyvyyden keskinäisessä vertailussa (kuva 8) on havaittavissa selkeää olosuhteiden pysyvyyden heikkenemistä kokonaisenergian ominaiskulutuksien kasvaessa.



Kuva 8. Kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja olosuhteiden pysyvyyden välisen suhteen kuvaajat.

Olosuhteiden pysyvyyksien trendi on tasaisesti laskeva rakennuksien 1–6 osalta. Rakennuksien 7–11 osalta hajonta kasvaa olosuhteiden pysyvyyksissä, mutta trendi on kuitenkin laskeva, kun kokonaisenergian ominaiskulutukset kasvavat. Olosuhteiden pysyvyyden mediaani oli noin 85,8, keskiarvo 84,7. Jos Vaasa 1 -rakennuksen (kuva 8, x=1) olosuhteiden pysyvyys olisi ollut noin 68 (91:n sijaan), vasta tällöin olisi olosuhteiden pysyvyyden trendi ollut kuvaajassa kasvava. Kyseisen rakennuksen jättäminen pois vertailusta ei olisi vaikuttanut trendin suuntaan. Olosuhteiden pysyvyyksien vaihteluvälit rakennuksien 1–5 osalta olivat 91...84 ja rakennuksien 7–11 osalta 94...66. Olosuhteiden pysyvyyksien keskiarvo rakennuksien 1–5 osalta oli noin 87,3 ja rakennuksien 7–11 keskiarvo oli noin 83,2, eli prosentuaalinen ero näiden välillä oli noin –5 %. Tutkittavien rakennuksien osalta voidaan todeta, että kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja olosuhteiden pysyvyyden välillä on yhteys, eli kun kokonaisenergian ominaiskulutukset kasvavat, olosuhteiden pysyvyydet heikkenevät rakennustasolla tasaisesti kolmea poikkeusta lukuun ottamatta. Nämä kolme rakennusta olivat Vaasa 3 (7.), Nurmes (9.) ja Hyvinkää (10.).

Huomionarvoista on myös, että sähkön ja kaukolämmön yhteenlasketun ominaiskulutuksiltaan parhaan rakennuksen (Vaasa 1) rakennusvuosi on 1862.

Rakennus on peruskorjattu vuonna 1987. Huonekorkeus tässä rakennuksessa oli vertailtavien rakennusten osalta suurin, noin 4,5 metriä ja pinta-ala rakennuksessa suhteessa tilavuuteen oli vertailtavista rakennuksista pienin. Tällöin myös seinäpinta-ala on suurin jokaista neliometriä kohden, eli myös laskennallisten lämpöhäviöiden jokaista lattiapinta-alan neliometriä kohden tulisi olla vertailtavien rakennusten osalta suurimmat. Tämä osoittaa, että myös vanhoista rakennuksista voi saada erittäin energiatehokkaita hyvin tehdyllä peruskorjauksella ja että vanhojen rakennusten ulkoseinien lämpöhäviöt ovat luultavasti pienemmät kuin nykyisin käytettävien rakenteiden. Huomionarvoista on myös se, että tämän rakennuksen sähkön ominaiskulutusta laskee muihin rakennuksiin verrattuna se, että sähköä käyttäviä laitteita on todennäköisesti vähemmän, koska pinta-ala on suhteessa tilavuuteen pienin vertailtavista rakennuksista. Rakennuksen osalta ei ollut myöskään tietoa, että onko peruskorjauksen yhteydessä ilmanvaihto muutettu koneelliseksi. Sähkön ominaiskulutus Vaasa 1 -rakennuksessa olikin koko vertailuryhmän pienin, mutta kaukolämmön ominaiskulutus oli silti kolmanneksi pienin.

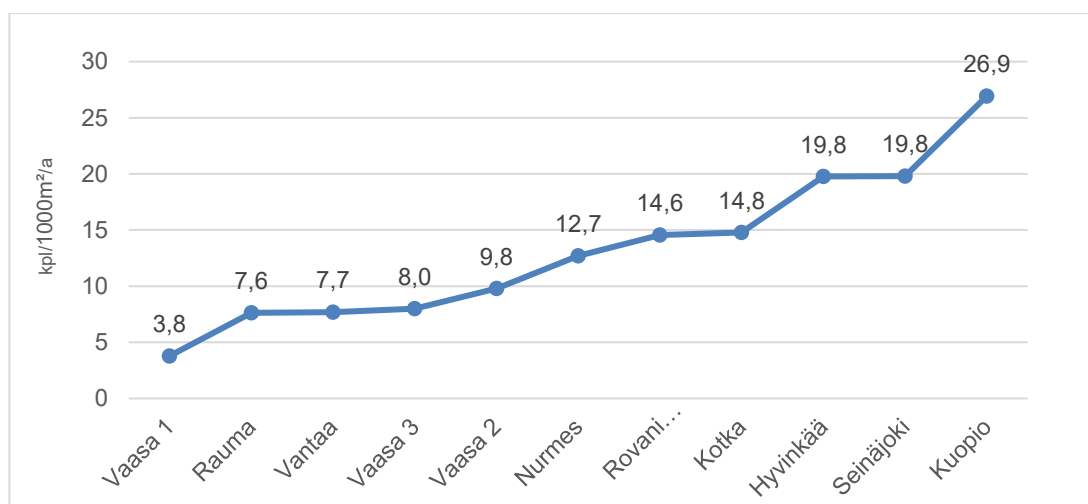
Kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja kiinteistöhoidon laatuauditoinnin arvosanan keskinäisessä vertailussa (liite 1, kuva 7) on havaittavissa arvosanan laskua kokonaisenergian ominaiskulutuksien kasvaessa. Kiinteistöhoidon laatuauditoinnin arvosanan mediaani oli 3,87 ja keskiarvo 3,86. Jos kokonaisenergian ominaiskulutukseltaan parhaan rakennuksen, Vaasa 1 (liite 1, kuva 7, $x=1$), kiinteistöhoidon laatuauditoinnin arvosana olisi ollut 3,10 (3,83:n sijaan), vasta tuolloin olisi kiinteistöhoidon laatuauditoinnin arvosanojen trendi ollut kuvaajassa kasvava. Vaasa 1 -rakennuksen pois jättämisellä vertailusta ei olisi ollut vaikutusta trendin suuntaan. Kiinteistöhoidon laatuauditoinnin arvosanan vaihteluvälit rakennuksien 1–5 osalta olivat 3,6...4,4 ja rakennuksien 7–11 osalta 3,4...4,1. Kiinteistöhoidon laatuauditointien arvosanojen keskiarvo rakennuksien 1–5 osalta oli noin 3,9 ja rakennuksien 7–11 keskiarvo oli noin 3,8, jolloin prosentuaalinen ero näiden välillä oli noin –3,8 %. Tutkittavien rakennusten osalta voidaan todeta, että kiinteistöhoidon laatuauditoinnin arvosanan ja kokonaisenergian ominaiskulutuksien välillä on yhteys vertailujoukon rakennuksien osalta.

Kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja palvelupyyntöjen määrän keskinäisessä vertailussa (liite 1, kuva 8) on havaittavissa palvelupyyntöjen määrän lievää kasvua kokonaisenergian ominaiskulutuksien kasvaessa. Hajonta palvelupyyntöjen määrän osalta on kuitenkin suurta. Palvelupyyntöjen määrän mediaani oli noin 12,7 ja keskiarvo 13,2. Jos kokonaisenergian ominaiskulutukseen parhaimman rakennuksen, Vaasa 1 (liite 1, kuva 8, x=1), palvelupyyntöjen määrä olisi ollut noin 18 kpl/1000 m² (3,8:n sijaan), tällöin palvelupyyntöjen määrän trendi olisi ollut kuvaajassa laskeva. Vaasa 1 -rakennuksen pois jättäminen vertailusta ei muuttaisi trendin suuntaa. Palvelupyyntöjen määrän vaihteluvälit rakennuksien 1–5 osalta olivat 3,8...19,8 ja rakennuksien 7–11 osalta 7,6...26,9. Palvelupyyntöjen määrän keskiarvo rakennuksien 1–5 osalta oli noin 12,1 ja rakennuksien 7–11 keskiarvo oli noin 15. Tutkittavien rakennusten osalta voidaan todeta, että palvelupyyntöjen määrän ja kokonaisenergian ominaiskulutuksien välillä on yhteys, eli kun kokonaisenergian ominaiskulutukset kasvavat, myös palvelupyyntöjen määrät kasvavat, vaikka palvelupyyntöjen määrissä onkin melko paljon hajontaa.

Merkittävimpanä tuloksena voidaan pitää olosuhteiden pysyvyyden ja kokonaisenergian ominaiskulutuksien suhdetta. Kokonaisenergian ominaiskulutuksien kasvaessa olosuhteiden pysyvyys laskee tasaisesti rakennuksien 1–6 osalta, jonka jälkeen olosuhteiden pysyvyyksissä ilmenee hajontaa. Muiden tekijöiden osalta hajonta on suurta tai melko suurta koko vertailualueella.

4.2 Vertailu tehtyjen palvelupyyntöjen määrään

Kuvassa 9 on esitetty rakennusten sijainti palvelupyyntöjen määrän mukaisesti.

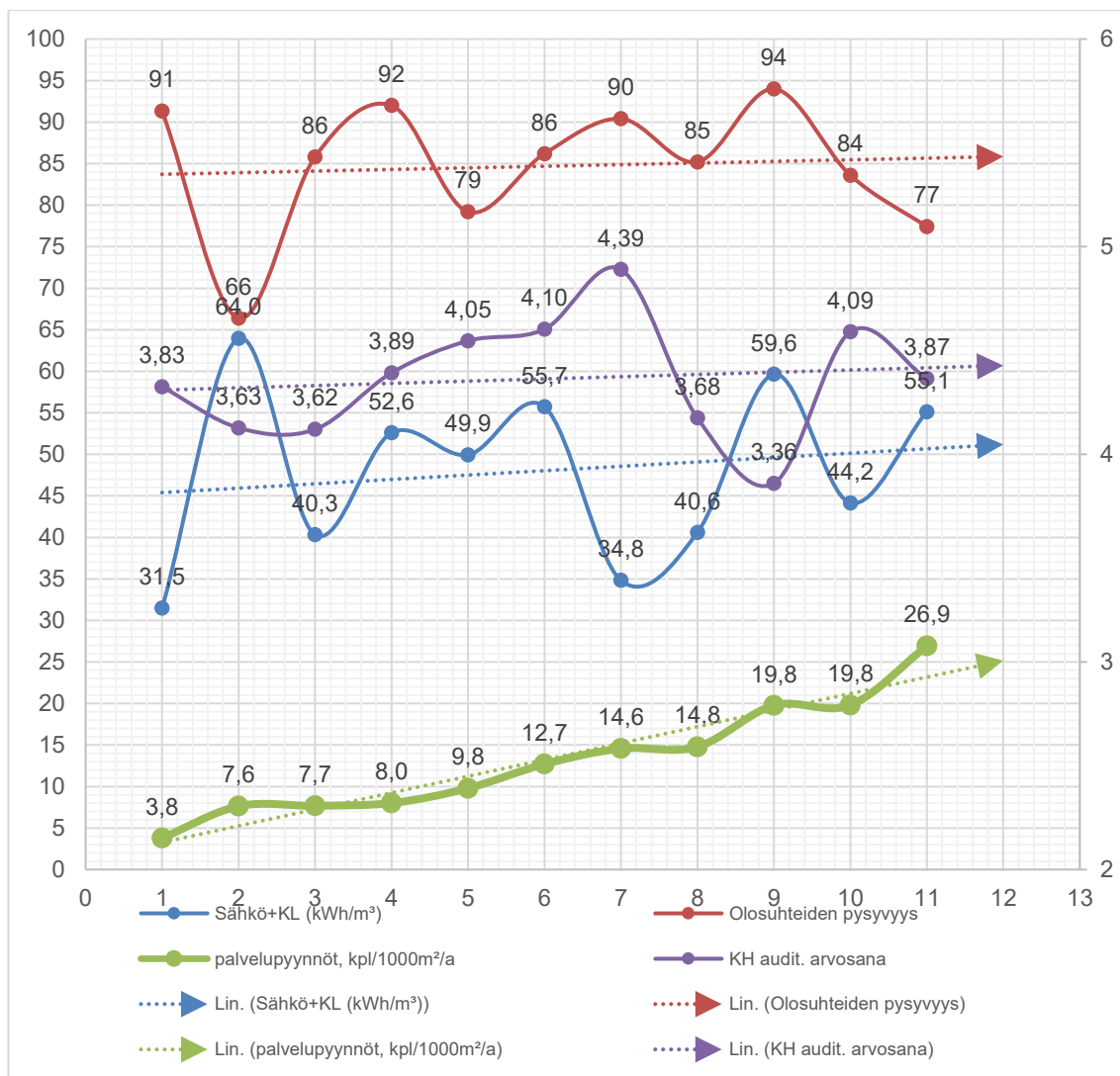


Kuva 9. Kuvaaja palvelupyyntöjen määrästä järjestettynä pienimmästä suurimpaan.

Järjestys pienimmästä suurimpaan oli seuraava; 1. Vaasa 1, 2. Rauma, 3. Vantaa, 4. Vaasa 3, 5. Vaasa 2, 6. Nurmes, 7. Rovaniemi, 8. Kotka, 9. Hyvinkää, 10. Seinäjoki ja 11. Kuopio. Kaikissa osion 4.1 kuvaajissa rakennusten järjestyksenä on käytetty samaa järjestystä, jotta kuvaajasta oli helposti tulkittavissa palvelupyyntöjen määrien muutoksen vaikutus vertailtavaan tekijään.

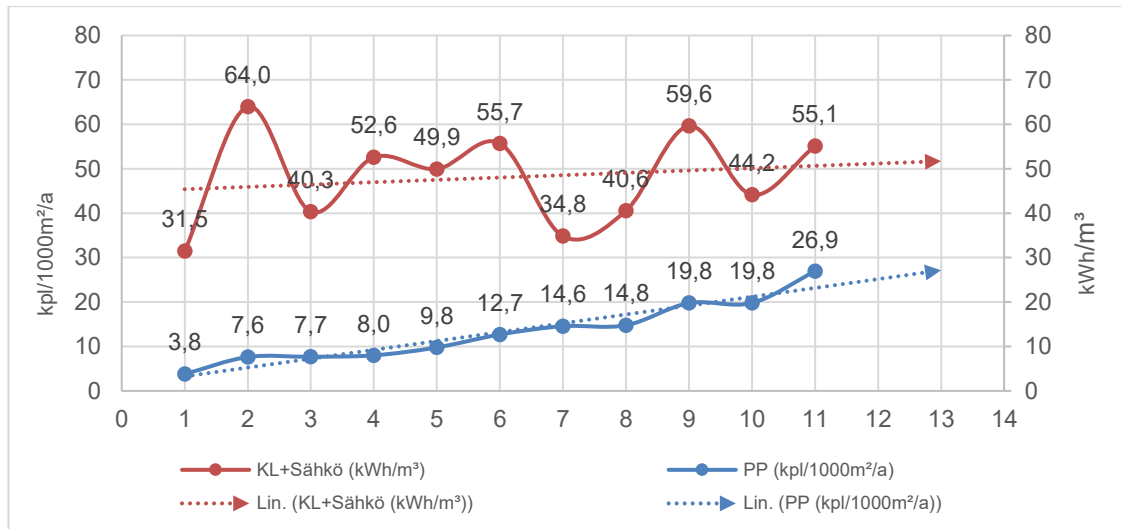
T-testin p-arvo niiden viiden rakennuksen osalta, joissa on vähiten ja eniten tehtyjä palvelupyntöjä keskiarvallisesti vuositasolla vuosien 2018–2022 aikana 1000:tta neliötä (m²) kohden, oli noin 0,0014, eli ero oli tilastollisesti merkittävä. Viiden parhaimman, joissa vähiten tehtyjä palvelupyntöjä, rakennuksen keskiarvollinen palvelupyntöjen määrä oli 7,4 palvelupyntöä 1000 neliötä (m²) kohden vuodessa, kun taas viiden heikoimman rakennuksen, joissa eniten tehtyjä palvelupyntöjä, palvelupyntöjen määrä 1000:tta neliometriä kohden oli noin 19,2. Viiden suurimman ja pienimmän palvelupyntöjen keskiarvollisen määrän prosentuaalinen ero oli noin –61,5 %.

Kuvassa 10 on esitetty kaikkien vertailtujen tekijöiden kehitys palvelupyntöjen määrien kasvaessa vasemmalta oikealle. Merkittävin vaikutus palvelupyntöjen määrän kasvulla on rakennusten kokonaisenergian ominaiskulutukseen.



Kuva 10. Palvelupyyntöjen määrät, kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanat, olosuhteiden pysyvyydet ja kokonaisenergian ominaiskulutukset rakennuksissa.

Palvelupyyntöjen (kpl/1000 m²/a) ja kokonaisenergian ominaiskulutuksien (kWh/m³) keskinäisessä vertailussa (kuva 11) on havaittavissa hienoista kasvua kokonaisenergian ominaiskulutuksissa, kun palvelupyyntöjen määrä kasvaa. Ominaiskulutuksien kasvu ei kuitenkaan ole selkeää ja hajonta kokonaisenergian ominaiskulutuksien osalta oli suurta.



Kuva 11. Palvelupyyntöjen määrät ja kokonaisenergian ominaiskulutukset rakennuksissa.

Kokonaisenergian ominaiskulutuksien mediaani oli noin $49,9 \text{ kWh/m}^3$ ja keskiarvo $48,0 \text{ kWh/m}^3$. Jos Vaasa 1 -rakennuksen (kuva 11, $x=1$) kokonaisenergian ominaiskulutus olisi ollut 43 kWh/m^3 ($31,5$:n kWh/m^3 sijaan) tai se olisi jätetty vertailusta kokonaan pois, olisi kokonaisenergian ominaiskulutuksien trendi ollut laskeva. Myös kokonaisenergian ominaiskulutuksien suuruudet vaihtelevat suuresti palvelupyyntöjen määrän kasvaessa. Rakennuksien 1–5 vaihteluväli kokonaisenergian ominaiskulutuksien osalta olivat $31,5 \dots 64,0 \text{ kWh/m}^3$ ja rakennuksien 7–11 osalta $34,8 \dots 59,6 \text{ kWh/m}^3$. Rakennuksien 1–5 kokonaisenergian ominaiskulutuksien keskiarvo oli suurempi (keskiarvo $47,7 \text{ kWh/m}^3$), kuin taas rakennuksien 7–11 (keskiarvo $46,9 \text{ kWh/m}^3$), mikä on ristiriidassa kuvaajan trendin suhteen. Tämän takia palvelupyyntöjen määrän vaikutuksesta kokonaisenergian ominaiskulutukseen ei voida tehdä johtopäätöksiä kyseisen vertailujoukon osalta. Otannan tulisi olla suurempi, jotta voitaisiin arvioida tarkemmin näiden kahden tekijän vaikutusta toisiinsa.

Samoin kuin kokonaisenergian ominaiskulutuksien osalta ei myöskään olosuhteiden osalta kasvu ole täysin selkeää palvelupyyntöjen määrien kasvaessa. Olosuhteiden mediaani oli noin $85,8$ ja keskiarvo $84,7$. Jos Vaasa 1 -rakennuksen (Liite 1, kuva 1, $x=1$) olosuhteiden pysyvyys olisi ollut 95 (91 :n sijaan), olisi

olosuhteiden pysyvyyden trendi ollut kuvaajassa laskeva. Myös olosuhteiden pysyvyydet vaihtelevat suuresti palvelupyyntöjen määrän kasvaessa. Rakennuksien 1–5 vaihteluväli olosuhteiden pysyvyyden osalta oli 66...92 ja rakennuksien 7–11 osalta 77...94. Olosuhteiden keskiarvo rakennuksien 1–5 osalta oli 82,9 ja rakennuksien 7–11 osalta 86,1. Nämä keskiarvot tukevat olosuhteiden pysyvyyksien trendiä, mutta pienet muutokset olosuhteiden pysyvyyksissä muuttaisivat niiden trendin suuntaa. Näistä syistä palvelupyyntöjen määrän vaikutuksesta olosuhteiden pysyvyyteen ei voida päätellä varmuudella. Otannan tulisi olla myös suurempi, jotta voitaisiin arvioida tarkemmin näiden kahden tekijän vaikutusta toisiinsa.

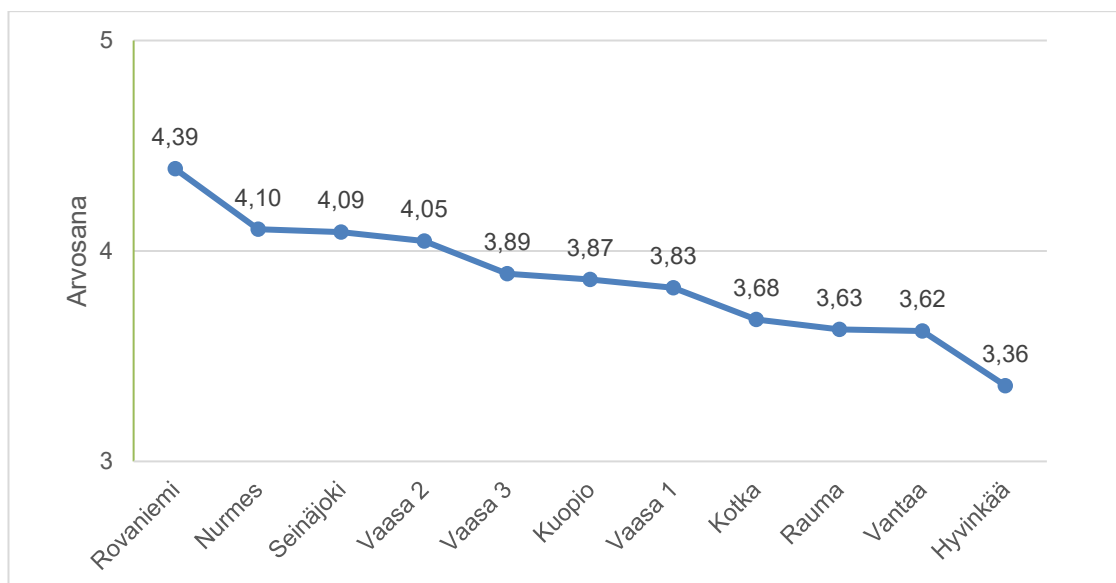
Palvelupyyntöjen määrän ja kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosanan keskinäisessä vertailussa (Liite 1, kuva 2) on havaittavissa hienoista kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosanan kasvua sitä mukaan, kun palvelupyyntöjen määrä kasvaa. Myöskään kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosanan osalta ei kasvu ole selkeää palvelupyyntöjen määrän kasvaessa. Kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosanan mediaani oli noin 3,87 ja keskiarvo noin 3,86. Jos Vaasa 1 -rakennuksen (liite 1, kuva 2, x=1) kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosana olisi ollut 4,10 (3,87:n sijaan), olisi kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosanojen trendi ollut kuvaajassa laskeva. Rakennuksien 3–7 osalta kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosanat kasvavat melko tasaisesti, mutta rakennuksien 7–11 osalta arvosanojen vaihtelu on suurta. Rakennuksien 1–5 vaihteluväli kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosanojen osalta oli 3,62...4,05 ja rakennuksien 7–11 osalta 3,36...4,39. Rakennuksien 1–5 keskiarvo oli 3,80 ja rakennuksien 7–11 keskiarvo 3,88. Vaikka kuvaajan trendi ja keskiarvot tukevatkin tulosta, että palvelupyyntöjen määrän ja kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosanan välillä olisi yhteys, tulisi otannan kuitenkin olla suurempi, jotta voitaisiin tehdä tarkempia johtopäätöksiä.

Olosuhteiden pysyvyys paranee, kokonaisenergian ominaiskulutukset kasvavat ja kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosana paranee, kun palvelupyyntöjen määrä kasvaa. Muutokset ovat kuitenkin pieniä ja hajonta suurta. Jos rakennuksien eri tekijöiden arvot olisivat olleet hiukan erilaiset, olisi trendien suunnat

olleet päinvastaiset. Toisaalta, kun vertailussa olevien rakennusten lukumäärä on pieni, pienet muutokset vertailtavissa tekijöissä vaikuttavat suhteellisen paljon niiden trendeihin.

4.3 Vertailu kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosanoihin

Kuvassa 12 esitetty rakennusten sijainti kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosanan mukaisesti.



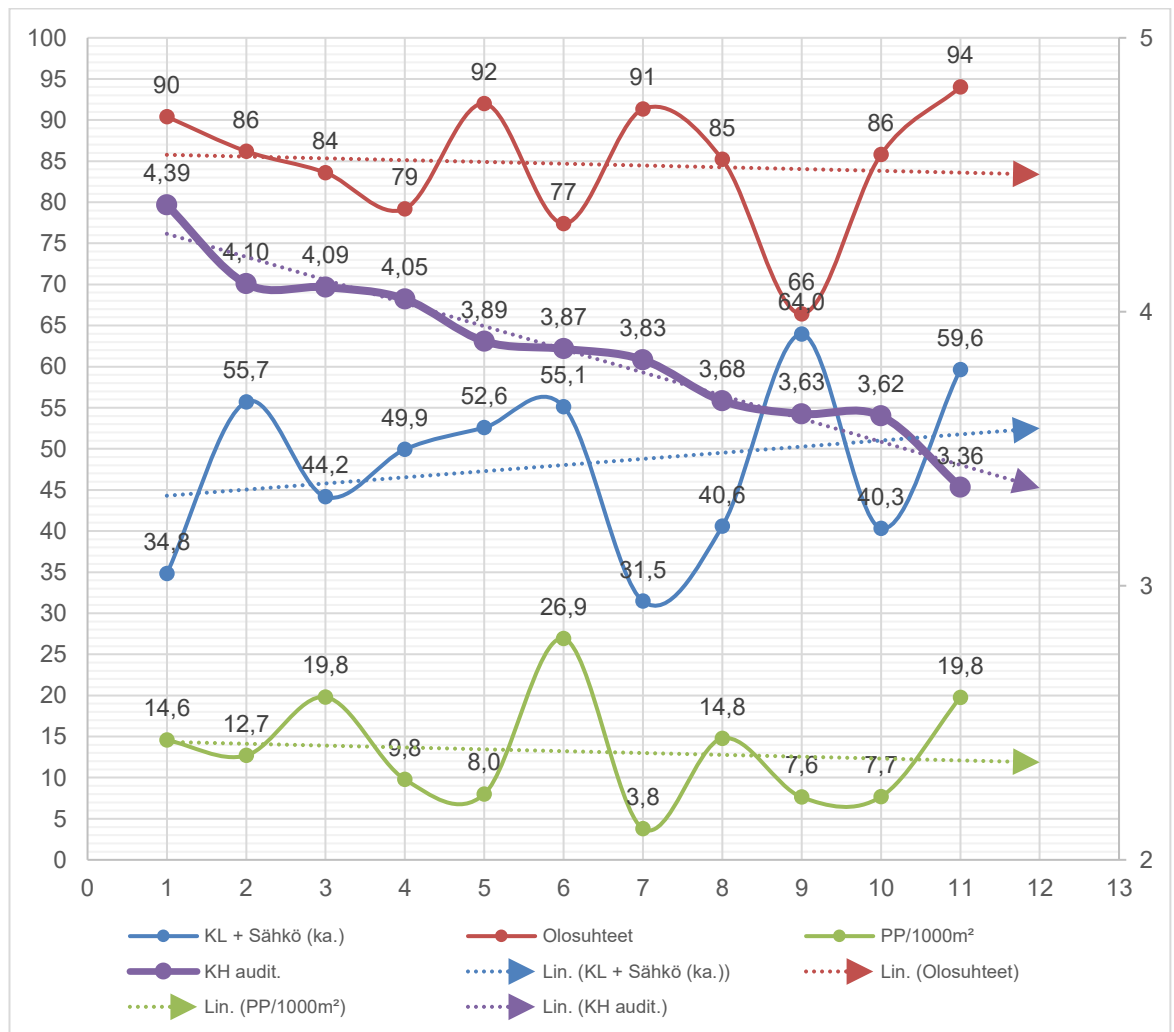
Kuva 12. Rakennusten sijainti kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosanan mukaan järjestettynä parhaimmasta heikoimpaan.

Järjestys pienimmästä suurimpaan oli seuraava; 1. Rovaniemi, 2. Nurmes, 3. Seinäjoki, 4. Vaasa 2, 5. Vaasa 3, 6. Kuopio, 7. Vaasa 1, 8. Kotka, 9. Rauma, 10. Vantaa ja 11. Hyvinkää. Kaikissa osion 4.2 vertailuissa rakennusten järjestyksenä on käytetty samaa järjestystä, jotta kuvaajasta oli helposti tulkittavissa palvelupyyntöjen määrien muutoksen vaikutus vertailtavaan tekijään.

T-testin p-arvo viiden parhaimman ja heikoimman kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosanan saaneiden rakennusten osalta oli noin 0,0023 eli ero oli tilastollisesti merkittävä. Viiden parhaimman arvosanan saaneen rakennuksen vuosien

2018–2022 arvosanojen keskiarvo oli 4,10 ja viiden heikoimman 3,62. Viiden parhaimman ja heikoimman arvosanan ero prosentuaalisesti oli noin +13,3 %.

Kuvassa 13 on esitetty kaikkien vertailtujen tekijöiden arvot kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanojen heiketessä vasemmalta oikealle. Merkittävin vaikutus laatuauditoinnin arvosanan heikkenemisellä oli rakennusten kokonaisenergian ominaiskulutuksiin.

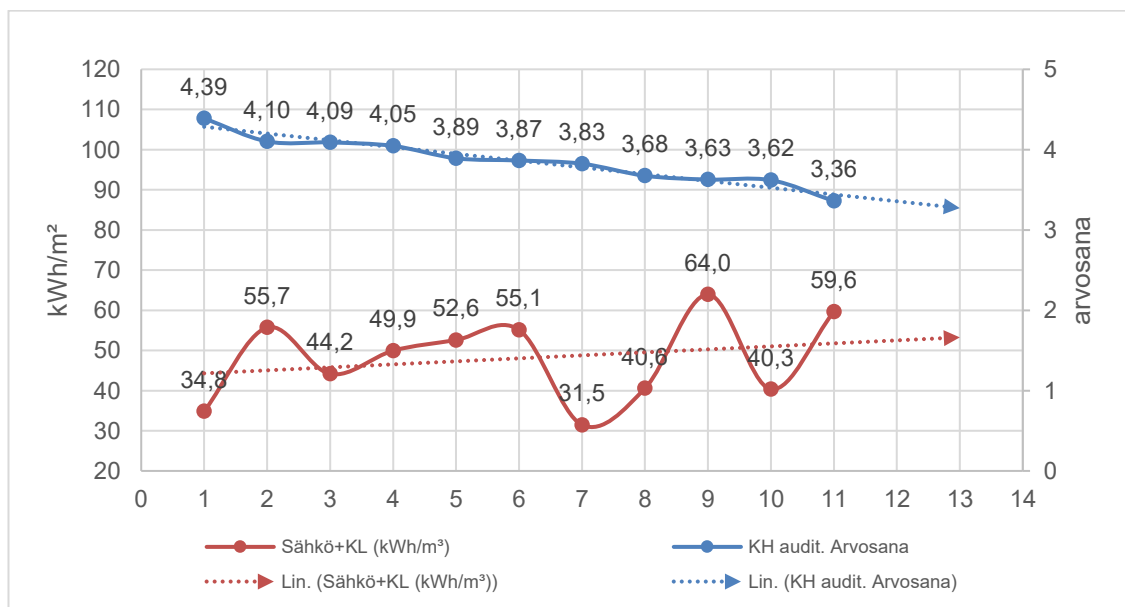


Kuva 13. Kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanat, palvelupyyntöjen määrät, olosuhteiden pysyvyydet ja kokonaisenergian ominaiskulutukset rakennuksissa.

Kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanan ja palvelupyyntöjen määrän keskinäisessä vertailussa on havaittavissa pientä palvelupyyntöjen määrän laskua,

kun kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosana laskee. Palvelupyyntöjen määrän mediaani oli noin 12,7 tehtyä palvelupyyntöä 1000 rakennusneliötä (m²) kohden ja keskiarvo oli noin 13,2. Jos Rovaniemi-rakennuksen (liite 1, kuva 3, x=1) palvelupyyntöjen määrä olisi ollut 8,0 (14,6:n sijaan), tällöin olisi palvelupyyntöjen määrän trendi ollut kuvaajassa nouseva. Palvelupyyntöjen määrien vaihteluvälit rakennuksien 1–5 osalta olivat 8,0...19,8 ja rakennuksien 7–11 osalta 3,8...19,8. Keskiarvo rakennuksien 1–5 osalta oli noin 13 tehtyä palvelupyyntöä 1000 rakennusneliötä kohden ja rakennuksien 7–11 keskiarvo oli noin 10,7. Kuvaajan trendin ja keskiarvojen perusteella vertailujoukon osalta kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanan laskiessa myös palvelupyyntöjen määrä laskee. Vertailujoukon ollessa pieni ja palvelupyyntöjen määrien hajonnan ollessa suurta, ei voida kuitenkaan tehdä johtopäätöksiä.

Kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanan ja kokonaisenergian ominaiskuluksien keskinäisessä vertailussa (kuva 14) on havaittavissa kokonaisenergian ominaiskulutuksien kasvua, kun kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosana laskee.



Kuva 14. Kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanat ja kokonaisenergian ominaiskulutukset.

Kokonaisenergian ominaiskulutuksien mediaani oli noin 49,9 kWh/m³ ja keskiarvo 48,0 kWh/m³. Jos Rovaniemi-rakennuksen (kuva 14, x=1) kokonaisenergian ominaiskulutus olisi ollut 52,0 kWh/m³ (34,8:n kWh/m³ sijaan), tällöin olisi kokonaisenergian ominaiskulutuksien trendi ollut laskeva. Jos Rovaniemi-rakennus olisi jätetty pois vertailusta, olisi trendi ollut x-akselin suuntainen. Kokonaisenergian ominaiskulutuksien vaihteluvälit rakennuksien 1–5 osalta olivat 34,8...55,7 kWh/m³ ja rakennuksien 7–11 osalta 31,5...64,0 kWh/m³. Kokonaisenergian ominaiskulutuksien keskiarvot rakennuksien 1–5 osalta olivat noin 47,4 kWh/m³ ja rakennuksien 7–11 osalta noin 47,2 kWh/m³, joka on ristiriidassa trendin suuntaan nähden. Hajonta kokonaisenergian ominaiskulutuksien osalta on pientä rakennuksien 1–6 osalta ja kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosanan laskiessa rakennuksien 7–11 hajonta kasvaa. Nämä asiat huomioiden ei voida tehdä johtopäätöstä, että laatuauditoinnin arvosanan ja kokonaisenergian ominaiskulutuksien välillä olisi suhdetta. Jotta johtopäätöksiä voitaisiin tehdä, tulisi vertailujoukon olla suurempi.

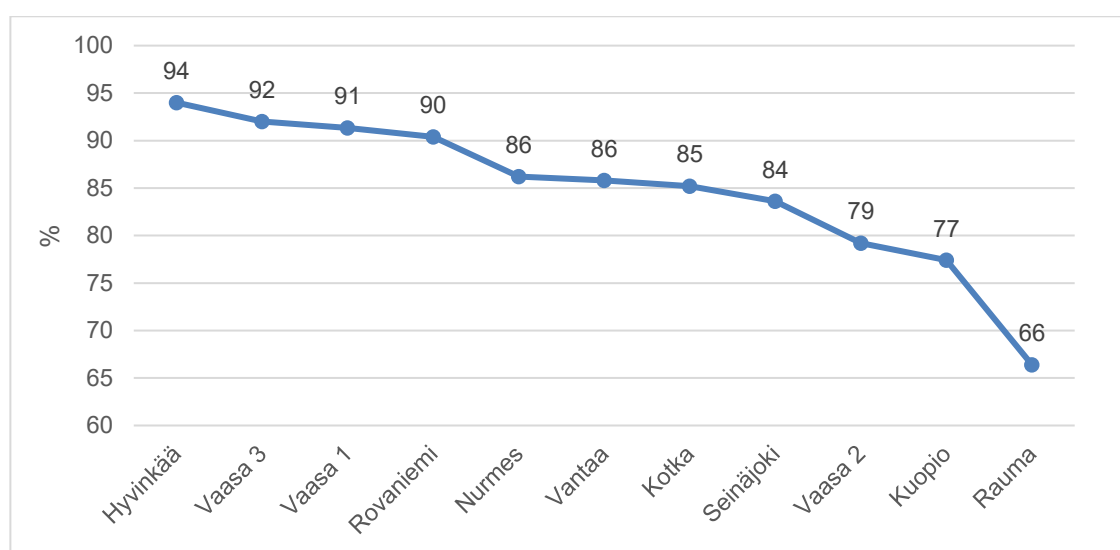
Kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosanan ja olosuhteiden pysyvyyden keskinäisessä vertailussa (liite 1, kuva 4) on havaittavissa lievää olosuhteiden laskea, kun kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosana laskee. Rakennuksien 1–4 olosuhteiden pysyvyys laskee tasaisesti kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosanan laskiessa ja rakennuksien osalta 1–6 hajonta on vähäistä. Rakennuksien 7–11 hajonta on taas melko suurta ja kyseisten rakennusten osalta trendi on nouseva. Olosuhteiden pysyvyyden mediaani oli noin 85,8 ja keskiarvo 84,7. Jos Rovaniemi-rakennuksen (liite 1, kuva 4, x=1) olosuhteiden pysyvyys olisi ollut 84 (90:n sijaan) tai Rovaniemi-rakennus olisi jätetty vertailusta pois, tällöin olisi olosuhteiden pysyvyyden trendi ollut kuvaajassa nouseva. Olosuhteiden pysyvyyksien vaihteluvälit rakennuksien 1–5 osalta olivat 79...92 ja rakennuksien 7–11 osalta 66...94. Olosuhteiden keskiarvo rakennuksien 1–5 osalta oli noin 86,3 ja rakennuksien 7–11 keskiarvo noin 84,5. Trendi ja rakennuksien 1–5 ja 7–11 olosuhteiden pysyvyyksien keskiarvot tukevat toisiaan, mutta pienet muutokset vertailujoukon olosuhteiden pysyvyyksissä muuttaisivat trendin suuntaa päinvastaiseksi, joten johtopäätöstä ei voida tehdä vertailujoukon kohteiden

osalta tässäkin vertailuparissa. Vertailujoukon tulisi olla suurempi, kun halutaan varmistua keskinäisestä suhteesta.

Olosuhteiden pysyvyys heikkenee, kokonaisenergian ominaiskulutukset kasvavat ja palvelupyyntöjen määrä laskee, kun kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosana heikkenee. Selkein yhteys trendien osalta on rakennusten kokonaisenergian ominaiskulutuksella ja kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanojen välillä. Voidaan myös todeta, ettei vertailtavien rakennusten lukumäärä ole riittävän suuri ja lisäksi eri tekijöiden arvojen hajonta on melko suurta.

4.4 Vertailu olosuhteiden pysyvyyksiin

Kuvassa 15 on esitetty rakennusten sijainti olosuhteiden pysyvyyden mukaisesti.



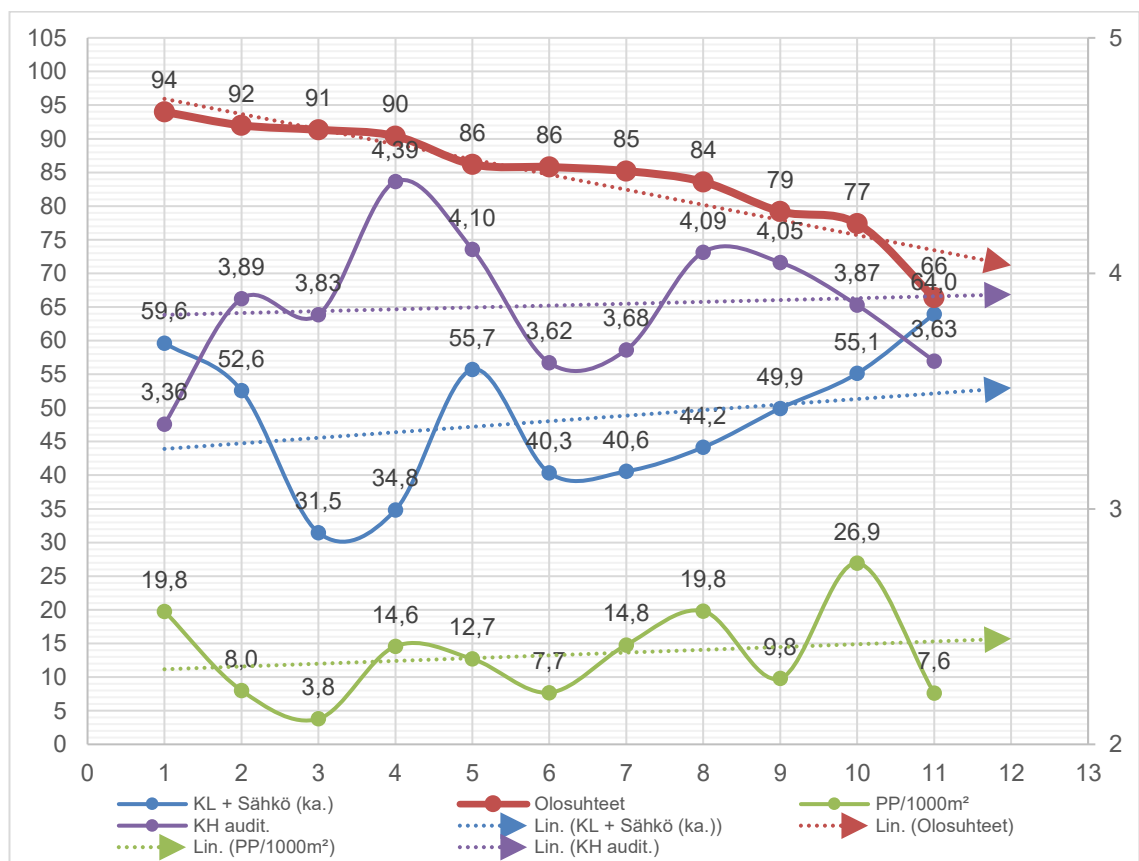
Kuva 15. Kuvaaja olosuhteiden pysyvyydestä järjestettynä suurimmasta pienimpään.

Järjestys pienimmästä suurimpaan oli seuraava; 1. Hyvinkää, 2. Vaasa 3, 3. Vaasa 1, 4. Rovaniemi, 5. Nurmes, 6. Vantaa, 7. Kotka, 8. Seinäjoki, 9. Vaasa 2, 10. Kuopio ja 11. Rauma. Kaikissa osion 4.3 vertailuissa rakennusten

järjestyksenä on käytetty samaa järjestystä, jotta kuvaajasta oli helposti havaittavissa olosuhteiden pysyvyyden muutoksien vaikutus vertailtavaan tekijään.

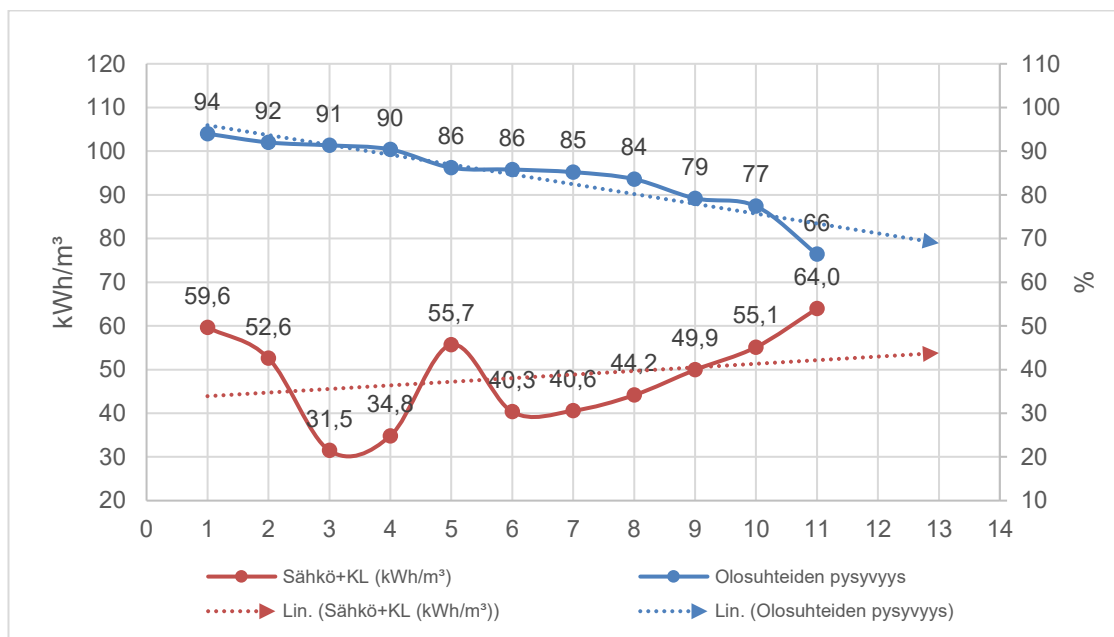
T-testin p-arvo viiden parhaimman ja heikoimman rakennuksen olosuhteiden pysyvyyden osalta oli noin 0,0081 eli ero oli tilastollisesti merkittävä. Viiden parhaimman rakennuksen olosuhteiden pysyvyyden osalta vuosien 2018–2022 olosuhteiden pysyvyyden keskiarvo oli 90,8 ja viiden heikoimman 78,4. Viiden parhaimman ja heikoimman arvosanan ero prosentuaalisesti oli noin –13,7 %.

Kuvassa 16 on esitetty kaikkien vertailtujen tekijöiden kehitys olosuhteiden pysyvyyksien heiketessä vasemmalta oikealle. Merkittävin vaikutus olosuhteiden pysyvyyksien heikkenemisellä oli rakennusten kokonaisenergian ominaiskulutuksiin.



Kuva 16. Olosuhteiden pysyvyydet, palvelupyyntöjen määrät, kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanat ja kokonaisenergian ominaiskulutukset rakennuksissa.

Olosuhteiden pysyvyyden ja rakennuksien kokonaisenergian ominaiskulutuksien keskinäisessä vertailussa (kuva 17) on havaittavissa selkeää kokonaisenergian ominaiskulutuksien kasvua olosuhteiden pysyvyyden laskiessa varsinkin, jos rakennukset Hyvinkää, Vaasa 3 ja Nurmes olisi jätetty pois vertailusta, olisi kokonaisenergian ominaiskulutuksien kasvu ollut tasaista olosuhteiden pysyvyyksien laskiessa.



Kuva 17. Olosuhteiden pysyvyyden ja kokonaisenergian ominaiskulutuksien välisen suhteen kuvaajat.

Kokonaisenergian ominaiskulutuksien hajonta on melko suurta rakennuksien 1–5 osalta, mutta hajonta rakennuksien 3–11 osalta on todella vähäistä. Kokonaisenergian ominaiskulutuksien mediaani oli noin 49,9 kWh/m³ ja keskiarvo noin 48,0 kWh/m³. Jos Rovaniemi-rakennuksen (kuva 17, x=1) olosuhteiden pysyvyys olisi ollut 85 kWh/m³ (59,6 kWh/m³ sijaan), tällöin olisi kokonaisenergian ominaiskulutuksien trendi ollut laskeva. Rovaniemi-rakennuksen pois jättämisellä vertailusta ei olisi ollut vaikutusta trendin suuntaan. Kokonaisenergian ominaiskulutuksien vaihteluvälit rakennuksien 1–5 osalta olivat 31,5...59,6 kWh/m³ ja rakennuksien 7–11 osalta 40,6...64,0 kWh/m³. Rakennuksien 1–5 kokonaisenergian ominaiskulutuksien keskiarvo oli noin 46,8 kWh/m³ ja rakennuksien 7–11 keskiarvo oli noin 50,7 kWh/m³, jolloin prosentuaalinen keskiarvojen kasvu

oli noin 8,3 %. Nämä huomioiden vertailujoukon rakennusten osalta kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja olosuhteiden välillä on yhteys.

Olosuhteiden pysyvyyden ja palvelupyyntöjen määrän keskinäisessä vertailussa (liite 1, kuva 5) on havaittavissa palvelupyyntöjen määrän kasvua olosuhteiden pysyvyyden laskiessa, mutta hajonta palvelupyyntöjen määrän osalta on kuitenkin suurta. Palvelupyyntöjen määrän mediaani oli noin 12,7, keskiarvo noin 13,2 ja jos Hyvinkää-rakennuksen (liite 1, kuva 5, X=1) tehtyjen palvelupyyntöjen määrä tuhatta rakennusneliötä kohden olisi ollut noin 30 (19,8:n sijaan), tällöin olisi palvelupyyntöjen määrän trendi ollut kuvaajassa laskeva. Huomion arvoista oli, että jos olosuhteiltaan parhaan rakennuksen olisi jättänyt vertailusta, olisi palvelupyyntöjen trendi ollut kuvaajassa esitettyä voimakkaammin nouseva. Palvelupyyntöjen määrän vaihteluvälit rakennuksien 1–5 osalta olivat 3,8...19,8 ja rakennuksien 7–11 osalta 7,6...26,9. Palvelupyyntöjen määrien keskiarvo rakennuksien 1–5 osalta oli noin 11,8 ja rakennuksien 7–11 keskiarvo oli noin 15,8 eli keskiarvojen prosentuaalinen muutos oli noin 34 %. Tutkittavien rakennusten osalta voidaan todeta, että palvelupyyntöjen määrän ja olosuhteiden pysyvyyden välillä on yhteys eli olosuhteiden pysyvyyksien laskiessa palvelupyyntöjen määrät kasvavat, vaikka palvelupyyntöjen määrän hajonta palvelupyyntöjen määrässä onkin suurta olosuhteiden pysyvyyden heiketessä.

Olosuhteiden pysyvyyden ja kiinteistöhoitoon laatuauditoinnin arvosanan keskinäisessä vertailussa (liite 1, kuva 6) on havaittavissa arvosanojen kasvua olosuhteiden pysyvyyden laskiessa. Kiinteistöhoitoon laatuauditoinnin arvosanojen mediaani oli noin 3,87, keskiarvo 3,86 ja jos Hyvinkää-rakennuksen (liite 1, kuva 6, x=1) kiinteistöhoitoon laatuauditoinnin arvosana olisi ollut noin 3,6 (3,36:n sijaan), jo tällöin olisi kiinteistöhoitoon laatuauditoinnin arvosanan trendi ollut laskeva. Jos olosuhteiltaan pysyvyydeltään paras rakennus, Hyvinkää, olisi jätetty vertailusta, olisi kiinteistöhoitoon laatuauditoinnin arvosanojen trendi ollut laskeva eli päin vastainen kuvaajaa verrattuna. Kiinteistöhoitoon laatuauditoinnin arvosanan vaihteluvälit rakennuksien 1–5 osalta olivat 3,36...4,39 ja rakennuksien 7–11 osalta 3,63...4,09. Kiinteistöhoitoon laatuauditoinnin arvosanojen keskiarvo rakennuksien 1–5 osalta oli noin 3,91 ja rakennuksien 7–11 keskiarvo

oli noin 3,86. Keskiarvojen perusteella trendi olisi laskeva eli päinvastainen kuvaajaan verrattuna. Tutkittavien rakennusten osalta voidaan todeta, että kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanan ja olosuhteiden pysyvyyden välillä ei ole merkittävää yhteyttä.

Olosuhteiden pysyvyyden heikkeneminen vaikutus vertailtaviin tekijöihin on trendien perusteella selkeä (kuva 16), mutta vertailtavien arvojen suhteen ei kuitenkaan tasainen. Merkittävimpänä tuloksena voidaan pitää olosuhteiden pysyvyyksien ja rakennuksien kokonaisenergian ominaiskulutuksien suhdetta ja kun taas kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanojen ja olosuhteiden pysyvyyksien välillä ei todennäköisesti ole yhteyttä. Olosuhteiden pysyvyyksien ja palvelupyynnöiden välillä on yhteys, mutta palvelupyynnöiden määrässä on selkeää hajontaa ja yhteys ei ollut yhtä selkeä, kuin kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja olosuhteiden pysyvyyksien välillä.

4.5 Laajennettu vertailu

Koska alkumäärittelyt täyttäviä rakennuksia oli ainoastaan 11, haluttiin insinöörityössä tehdä vertailu suuremmalle vertailujoukolle. Laajennettu vertailujoukko muodostui yhteensä 41 rakennuksesta. Nämä rakennukset valittiin saatavilla olevista tietolähteistä sillä perusteella, että tietolähteistä jätettiin pois ne rakennukset, joissa oli jäähdytysmuotona kaukokylmä ja joiden osalta oli saatavilla palvelupyynnöiden määrät, kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanat, kokonaisenergian ominaiskulutukset ja olosuhteiden pysyvyydet. Tarkoituksena oli tutkia, miten vertailutulokset käyttäytyvät, kun alkumäärittelyitä ei noudateta ja kun vertailujoukko olisi suurempi.

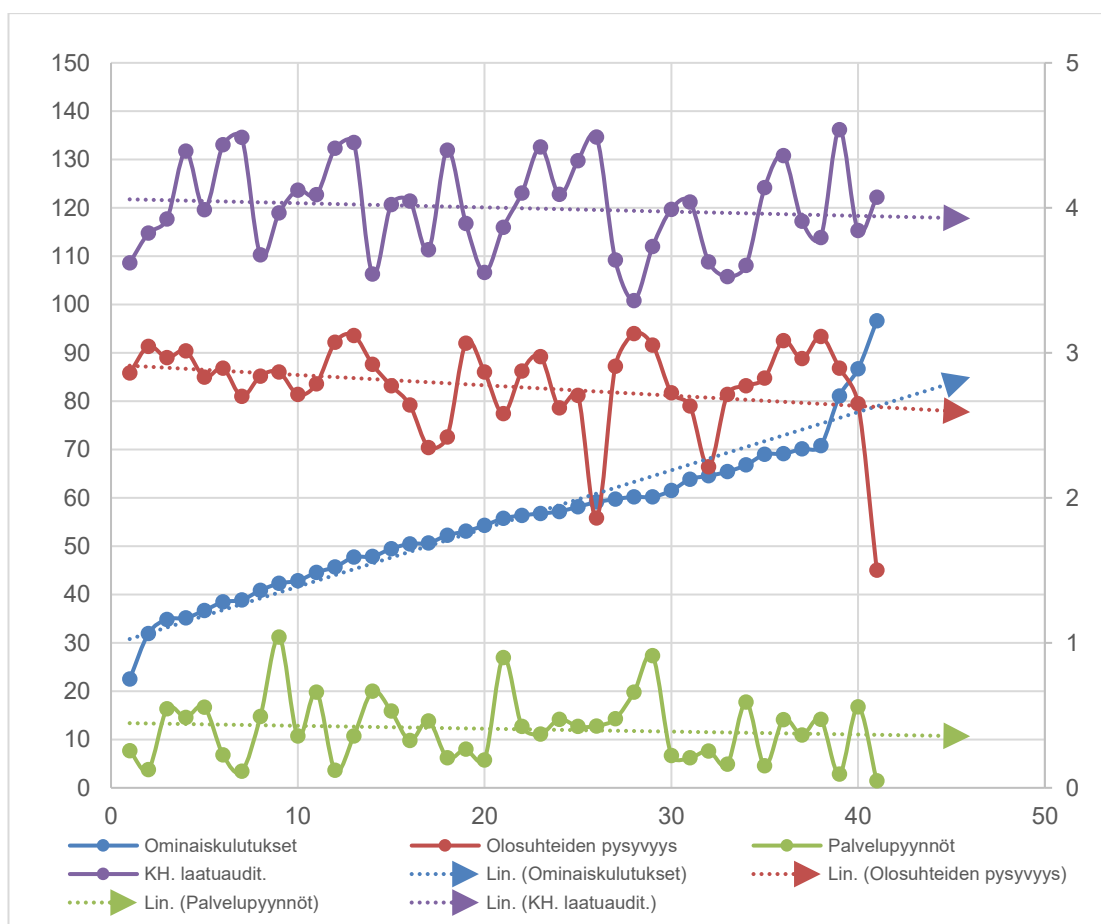
Liitteen 2 taulukossa 2 on esitetty laajennetun vertailujoukon korrelaatioanalyysin taulukkoarvot ja korrelaatiokertoimet korrelaatiomatriisin muodossa. Korrelaatioanalyysin perusteella ei ollut korrelaatiokertoimiltaan yhtään kohtalaisen riippuvuuden rajaa, $> 0,4$, ylittävää korrelaatiokerrointa (taulukko 2).

Taulukko 2. Korrelaatiomatriisi, laajennettu vertailujoukko (liite 2, taulukko 2).

	<i>Ominaiskulutukset</i>	<i>Olosuhteiden pysyvyys</i>	<i>Palvelupyynnöt</i>	<i>KH. laatuaudit.</i>
Ominaiskulutukset	1,000			
Olosuhteiden pysyvyys	-0,371	1,000		
Palvelupyynnöt	-0,132	0,212	1,000	
KH. laatuaudit.	-0,032	-0,085	-0,305	1,000

Muista erottuvat korrelaatiokertoimet olivat kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja olosuhteiden pysyvyyksien välisellä riippuvuudella ($-0,371$), olosuhteiden pysyvyyksien ja palvelupyynnöiden määrien välisellä riippuvuudella ($0,212$) ja palvelupyynnöiden ja kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanojen välisellä riippuvuudella ($-0,305$). Kuten alkuperäisessä vertailujoukon korrelaatioanalyysissä, suurin korrelaatiokerroin oli kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja olosuhteiden pysyvyyksien välillä. Huomionarvoista oli myös, että näiden laajennetun ja alkuperäisen vertailujoukon korrelaatiokertoimista olivat saman suuntaisia ainoastaan kahden vertailuparin korrelaatiokertoimet, kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja olosuhteiden pysyvyyksien ja kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanojen väliset korrelaatiokertoimet.

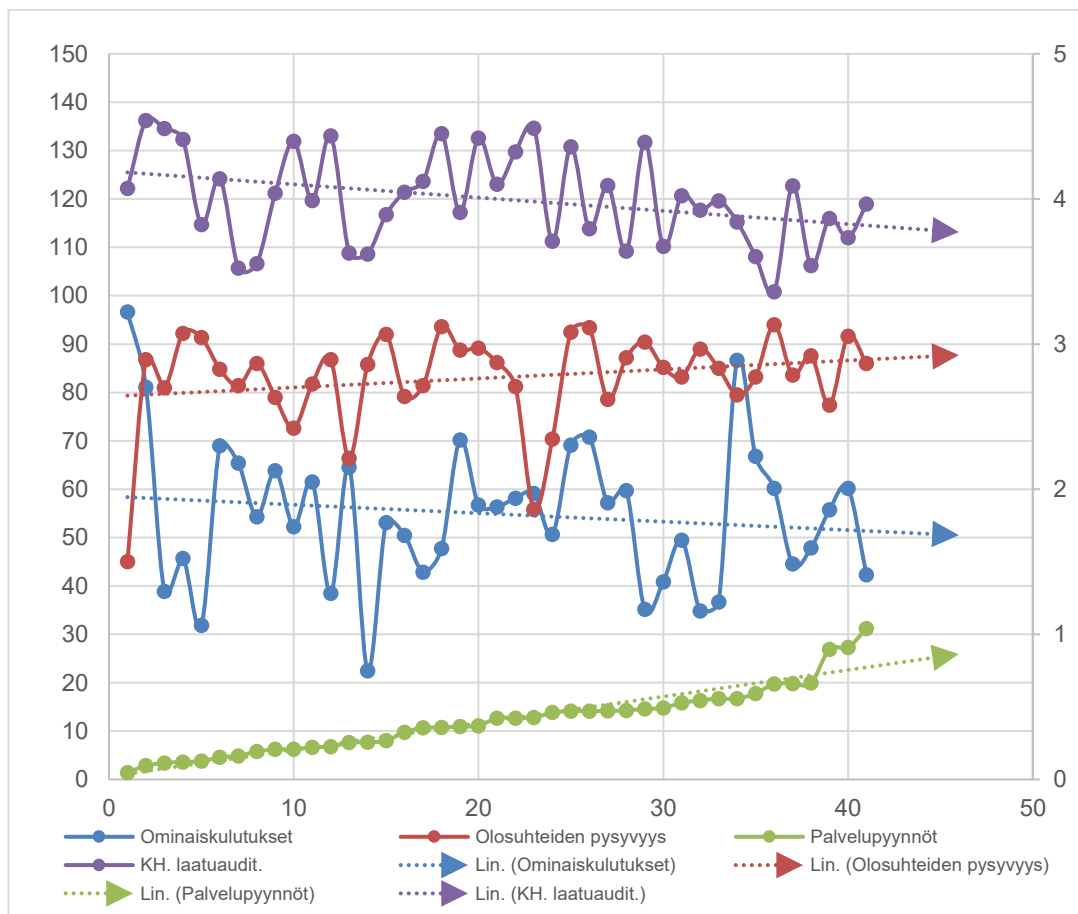
Kuvassa 20 on esitetty laajemman vertailujoukon rakennusten osalta kaikkien tekijöiden kehitys verrattuna rakennusten kokonaisenergian ominaiskulutuksiin.



Kuva 20. Kokonaisenergian ominaiskulutuksien vaikutus muihin tekijöihin.

Verrattuna alkumäärittysten täyttävien rakennuksien vertailuun näiden 41 rakennuksen eri tekijöiden vertailut rakennuksien kokonaisenergian ominaiskulutuksiin eroavat ainoastaan palvelupyynnöiden osalta. Palvelupyynnöiden määrien trendi on kasvava, kun kokonaisenergian ominaiskulutukset kasvavat, toisin kuin aiemmassa pienemmän rakennusmäärän vertailussa. Muutoin eri tekijöiden trendit ovat saman suuntaisia, hajonta tosin suurempaa, kuin pienemmän rakennusmäärän vertailussakin. Suurin vaikutus kokonaisenergian ominaiskulutuksien kasvulla oli edelleen olosuhteiden pysyvyyksiin, jotka laskevat, kun kokonaisenergian ominaiskulutukset kasvavat. Hajonta tosin oli huomattavasti suurempaa kuin alkumäärittelyt täyttävien rakennusten vertailussa.

Kuvassa 21 on esitetty kiinteistöhoidon laatuauditoinnin arvosanojen, kokonaisenergian ominaiskulutustien ja olosuhteiden pysyvyyksien kehitys, kun palvelupyynnöiden määrät olivat järjestetty pienimmästä suurimpaan.



Kuva 21. Palvelupyynnöiden määrien vaikutus muihin tekijöihin.

Palvelupyynnöiden määrien kasvaessa kokonaisenergian ominaiskulutuksen suunta on laskeva ja olosuhteiden pysyvyys paranee, mikä oli linjassa muiden vertailutuloksien kanssa. Muihin vertailuihin poiketen, kiinteistöhoidon laatuauditointien arvosanat laskevat melko voimakkaasti palvelupyynnöiden määrien kasvaessa.

5 Pohdintaa

Merkittävin korrelaatio löytyi kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja olosuhteiden pysyvyyksien väliltä molempien vertailujoukkojen osalta. Laajemman vertailujoukon vertailussa hajonta oli olosuhteiden pysyvyyden osalta huomattavasti suurempaa. Suuremman vertailujoukon tuloksen perusteella voidaan todeta, että jos olosuhteiden pysyvyys on merkittävän heikkoa, on todennäköisempää, että tällöin on myös kyseisen rakennuksen kokonaisenergian ominaiskulutus normaalia suurempi. Näiden kahden vertailujoukon tuloksien perusteella voidaan lisäksi todeta, että rakennusten talotekniikkajärjestelmien tarpeen- ja suunnitelmien mukaisella käytöllä on merkittävä vaikutus rakennuksien sähkön ja kaukolämmön kokonaisenergiankulutuksiin toimistorakennuksissa. Seuraamalla aktiivisesti rakennuksen energiankulutuksen ja sisäilmaston olosuhteiden pysyvyyttä voidaan osaltaan varmistaa talotekniikkajärjestelmien tarpeen ja suunnitelmien mukainen toiminta ja käyttö.

Tuloksista mielenkiintoisimpia olivat yleisten olettamien vastaiset tulokset, kuten olosuhteiden ja kokonaisenergian ominaiskulutuksien välinen suhde (kuva 10) ja palvelupyynnöiden ja kiinteistöhoitoon laatuauditoinnin arvosanojen välinen suhde (liite 1, kuva 2). Usein esimerkiksi hyvien sisäilmaolosuhteiden ylläpitämisestä on saatettu pitää rakennuksien energiankulutusta lisäävänä. Myös palvelupyynnöiden määrän ollessa suuri usein oletetaan, ettei rakennus toimi halutusti eikä rakennusta välttämättä ole ylläpidetty hyvin, mikä johtaa palvelupyynnöiden suureen määrään. Liitteen 1 kuvassa 2 on esitetty kiinteistöhoitoon laatuauditoinnin arvosanojen kehitys palvelupyynnöiden määrään verrattuna. Kuvasta nähdään, että palvelupyynnöiden määrien kasvaessa kiinteistöhoitoon laatuauditoinnin arvosana kuitenkin kasvoi eli parani. Toisaalta kun vertailu tehtiin suuremmalle vertailujoukolle, tulos oli päinvastainen. Tämän vertailuparin keskinäisen suhteen selvitys vaatisi vielä suurempaa vertailujoukkoa, ja samassa yhteydessä olisi hyvä myös tutkia tarkemmin palvelupyynnöiden sisältöä. Kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja palvelupyynnöiden suhteen tarkempi ja laajempi tutkimus ja sen tulokset olisivat mielenkiintoinen aihe mahdollisille jatkotutkimuksille.

Varsinainen vertailujoukko, jossa oli mukana vain alkumäärittelyiden mukaiset rakennukset, jäi pieneksi. Olisikin mielenkiintoista nähdä, miten suuremman vertailujoukon osalta vertailuparit käyttäytyisivät, jos kaikki rakennukset olisivat rakenteellisilta ja teknisiltä ominaisuuksiltaan samanlaisia. Esimerkiksi kun suuremman vertailujoukon vertailu tehtiin kokonaisenergian ominaiskulutuksien suhteen 41 rakennukseen, olivat tulokset suurimmaksi osaksi saman suuntaisia eri tekijöiden välillä, pois lukien palvelupyyntöjen määrät, kuin alkumäärittelysten mukaisissa rakennuksissa.

Suuremman vertailujoukon vertailussa (kuva 21), jossa rakennuksien osalta ei noudatettu rakennuksille määritettyjä kriteereitä, tulos oli, että kiinteistönhoidon laatuauditointien arvosanojen suunta oli melko voimakkaasti laskeva, kun palvelupyyntöjen määrät järjestettiin pienimmästä suurimpaan. Suuremman vertailujoukon tulos kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanojen ja palvelupyyntöjen määrien suhteen osalta oli linjassa sen oletuksen kanssa, että palvelupyyntöjen määrä kasvaa, kun huollon taso laskee. Pienemmän vertailujoukon tulos vertailuparin osalta oli päinvastainen eli palvelupyyntöjen määrän kasvaessa, kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosana kasvoi.

Suuremman vertailujoukon vertailun osalta mielenkiintoisin havainto oli, että kiinteistöhoito laatuauditoinnin arvosanojen laskiessa rakennusten kokonaisenergian ominaiskulutukset pienenevät ja olosuhteiden pysyvyydet paranivat, kun vertailu tehtiin palvelupyyntöjen määrien suhteen. Saman suuntainen tulos oli myös vertailussa, jossa tekijöitä vertailtiin kiinteistöhoito laatuauditoinnin arvosanojen kehittymisen suhteen (liite 1, kuva 9). Huomioitavaa toki oli, että kokonaisenergian ominaiskulutuksien suunta oli lähes x-akselin suuntainen ja korrelaatiokerroin lähes 0 ($-0,032$).

Vertailutulokset muuttuivat melko paljon kahden eri vertailujoukon kesken ja tai kun vertailtava tekijä vaihtui. Kahden eri vertailujoukon erot saattavat aiheutua siitä, että varsinkin suuremmassa vertailujoukossa oli mukana rakennuksia, joissa rakennukset eivät olleet rakenteiden lämmönläpäisykertoimien osalta samanlaisia verrattuna pienempään vertailujoukkoon. Jotta saataisiin varmistettua

tulosten todenmukaisuus, tulisi vertailtavia tekijöitä tutkia yksityiskohtaisemmin ja laajemmalla otannalla.

6 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää kokonaisenergian ominaiskulutukseen vaikuttavia tekijöitä. Näitä tekijöitä selvitettiin tutkittavien toimistorakennuksien sisäolosuhteista, huoltopyyntöjen määrästä ja kiinteistönhoidon laatuauditoinnin arvosanoista. Tutkimusmenetelminä käytettiin t-testiä, usean muuttujan välistä lineaarista regressioanalyysiä ja korrelaatioanalyysiä.

Tutkimuksessa vertailuun valituissa toimistorakennuksissa merkittävin korrelaatio havaittiin kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja olosuhteiden pysyvyyden välillä. Kyseisen vertailuparin korrelaatio oli selkein alkumäärittelyt täyttävissä rakennuksissa, kuin myös laajemman vertailujoukon rakennuksissa. Korrelaatioanalyysin tulokset tukivat lineaarisen regressioanalyysin tuloksia korrelaatiokertoimien ollessa molemmissa vertailujoukoissa kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja olosuhteiden pysyvyyden välillä selkeästi suurimmat muihin tekijöihin vertailtuna. Alkumäärittelyt täyttävien rakennusten vertailussa korrelaatiokerroin ylitti ainoana kaikista vertailuista itseisarvoltaan kohtalaisen korrelaation rajan 0,4.

Alkumäärittelyt täyttävien toimistorakennuksien osalta palvelupyntöjen määrillä ja kiinteistöhuollon laatuauditoinnin arvosanoilla oli kokonaisenergian ominaiskulutukseen myös vaikutusta, mutta niiden vaikutus oli vähäinen. Korrelaatiokerroin kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja palvelupyntöjen määrän välillä oli 0,270 ja kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja kiinteistöhuollon laatuauditoinnin arvosanojen välillä $-0,371$.

Laajemman vertailujoukon toimistorakennuksien vertailuissa kokonaisenergian ominaiskulutuksien ja olosuhteiden pysyvyyden välisen korrelaation lisäksi korrelaatiota ilmeni olosuhteiden pysyvyyksien ja palvelupyntöjen määrien välillä sekä palvelupyntöjen määrien ja kiinteistönhoidon laatuauditointi arvosanojen

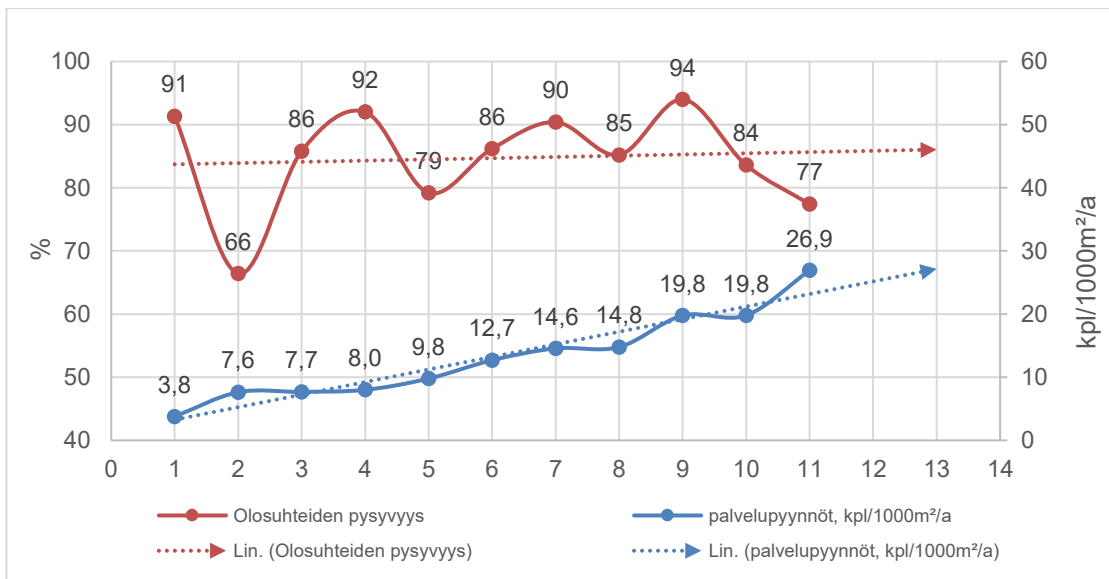
välillä. Huomioitavaa on, ettei laajemman vertailujoukon osalta yksikään korrelaatiokerroin ylittänyt itseisarvoltaan kohtalaisen korrelaation rajaa 0,4. Lisäksi on todettava, ettei laajemman vertailujoukon rakennusten välisiä vertailuja voida pitää luotettavina, koska rakennukset eivät olleet alkumäärittelyiden mukaisia.

Mahdollisissa jatkotutkimuksissa tulisi vertailujoukon olla suurempi, mahdollisesti moninkertainen, jotta vertailutuloksista ja eri tekijöiden välisistä korrelaatioista saataisiin luotettavampia tuloksia. Palvelupyynnöiden määrää tutkittaessa tulisi palvelupyynnöiden sisältöä tarkastella tarkemmin. Palvelupyynnöitä kannattaisi tutkia kategorioittain esimerkiksi jakamalla palvelupyynnöt sisällön perusteella sisäilmaolosuhteisiin liittyviin palvelupyynnöihin sekä talotekniikkajärjestelmiin ja niiden vikaantumiseen liittyviin palvelupyynnöihin ja jättämällä vertailuista kaikki ne palvelupyynnöt, joilla ei todennäköisesti ole vaikutusta rakennusten kokonaisenergiankulutukseen.

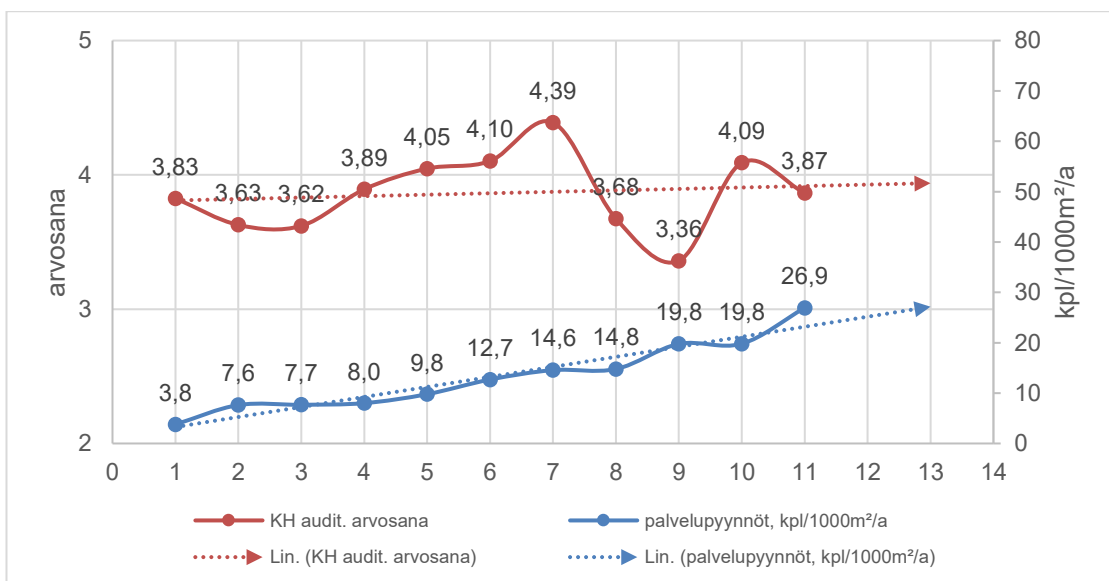
Lähteet

- 1 Energian loppukäyttö. 2023. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/energian_loppukaytto>. Päivitetty 27.4.2023. Luettu 5.9.2023
- 2 Kuurola, Pentti; Raunimaa, Tuomas; Ketko, Joonas; Toyinbo, Oluyemi; Vinha, Juha & Haverinen-Shaughnessy, Ulla. 2023. Verkkoaineisto. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778823007004?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=849584824d64d953>. Luettu 16.11.2023.
- 3 Toimistorakennuksen energiakatselmus. 2023. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tuetut_energiakatselmukset/katselmuksissa_havaitut_saastomahdollisuudet/toimistorakennukset>. Päivitetty 5.1.2023. Luettu 16.9.2023.
- 4 Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja. 2018. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/files/16465/Tyypillisia_olemassa_olevien_vanhojen_rakennusten_alkuperaisia_suunnitteluarvoja_-_Energiatodistusoppaan_2018_liite.pdf>. 1.11.2018. Luettu 16.9.2023.
- 5 Kulutuksen normitus: Laskentakaavat ja – ohjeet. 2023. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/files/20935/Motiva_Kulutuksennormitus_laskentakaavat-ja-ohjeet_01-2023.pdf>. Luettu 15.9.2023.
- 6 Sisäilmastoluokitus 2018, Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. 2018. RT 07-11299. Rakennustieto.
- 7 Laininen, Pertti. 2007. Tilastollisen analyysin perusteet. 2., korjattu painos. Espoo: Otatieto.
- 8 Korrelaatio ja riippuvuusluvut. 2004. Verkkoaineisto. Menetelmäopetuksen tietovaranto. <<https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/korrelaatio/korrelaatio.html>>. 28.1.2004. Luettu 8.12.2023.
- 9 12-Korrelaatioanalyysi. 2021. Verkkoaineisto. Tutkijaportti. <<https://www.tutkijaportti.fi/wp-content/uploads/sites/17/2021/05/12-Korrelaatioanalyysi.pdf>>. 12.5.2021. Luettu 8.12.2023.

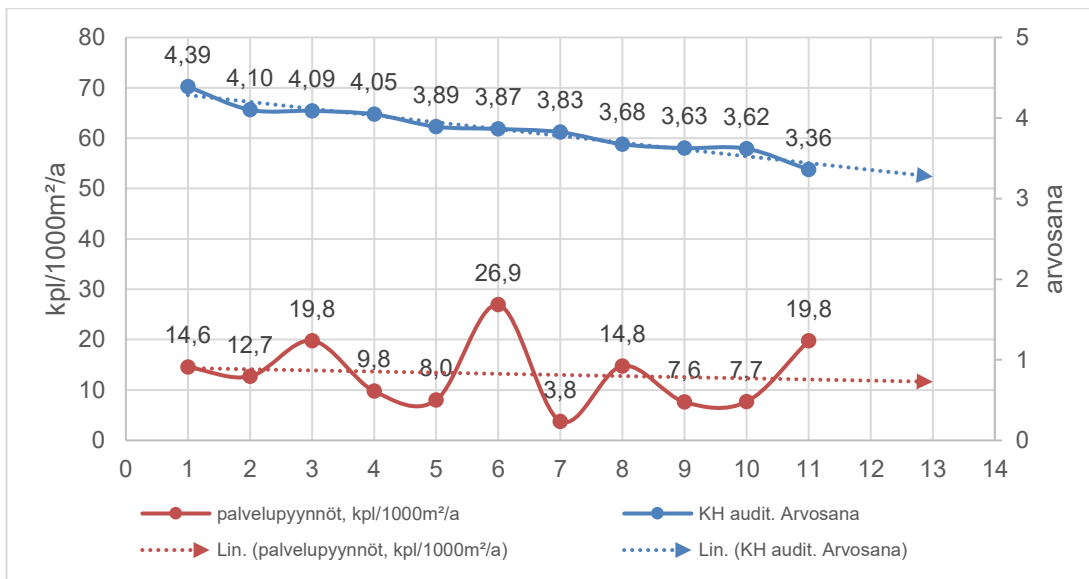
Vertailutuloksien kuvaaja



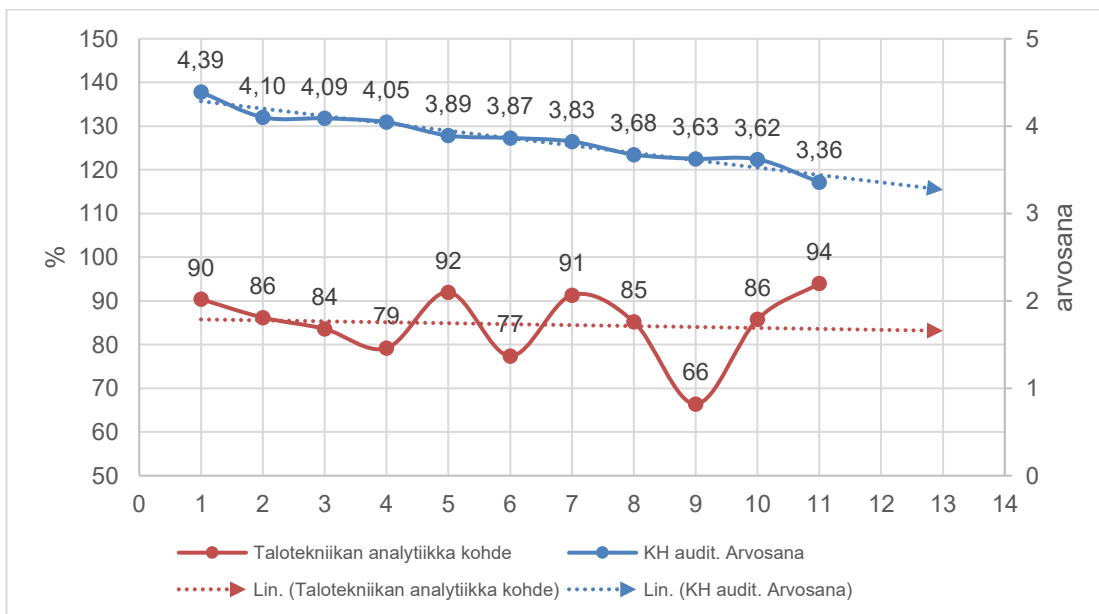
Kuva 1. Palvelupyynnöiden määrät ja olosuhteiden pysyvyydet.



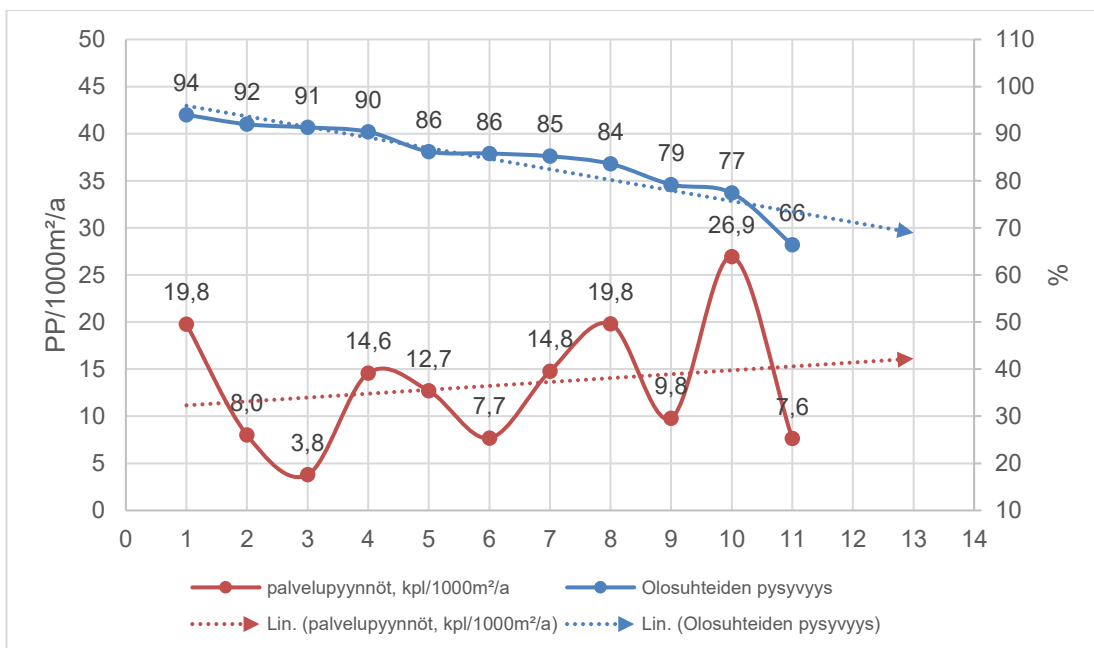
Kuva 2. Palvelupyynnöiden määrät ja kiinteistöhoiton laatuauditoinnin arvosanat.



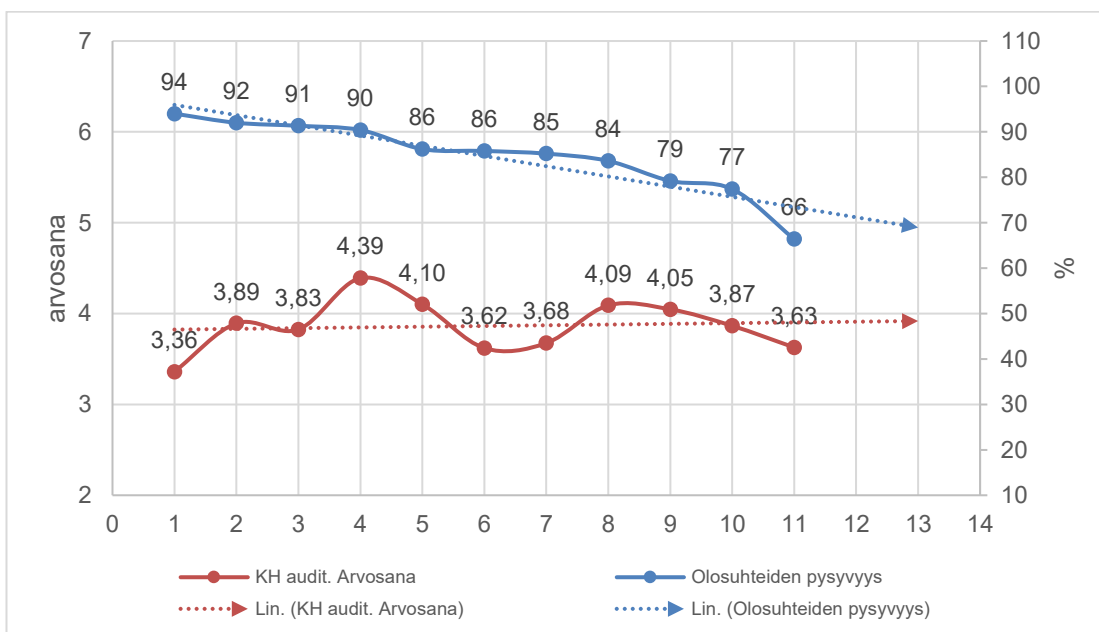
Kuva 3. Kiinteistönhoidon laatuauditointien arvosanat ja palvelupyyntöjen määrät.



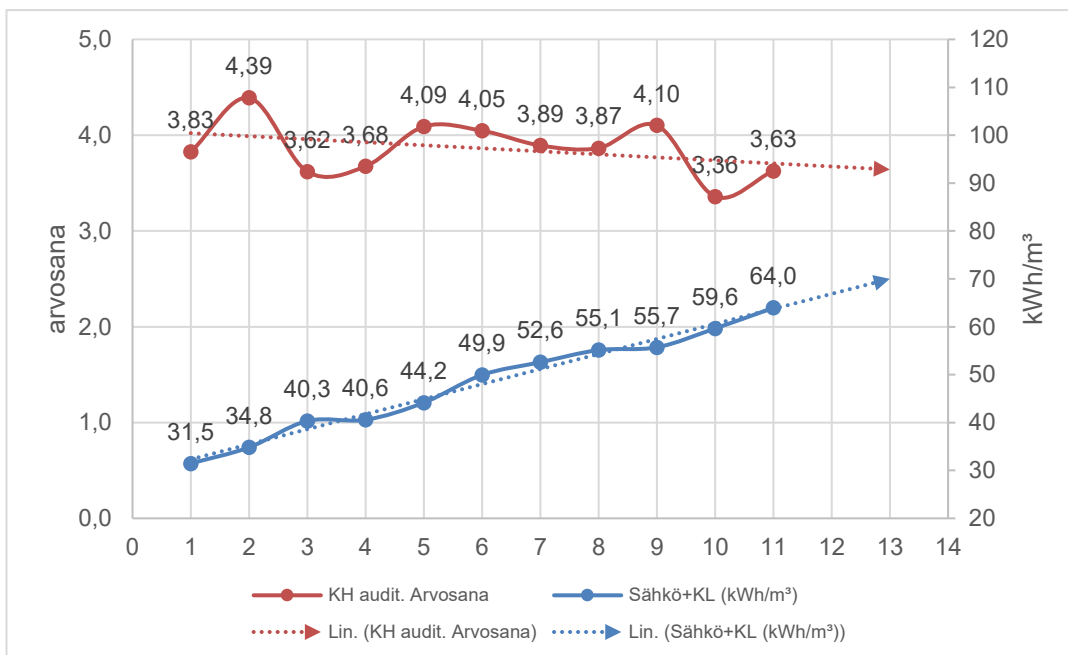
Kuva 4. Kiinteistönhoidon laatuauditointien arvosanat ja olosuhteiden pysyvyydet.



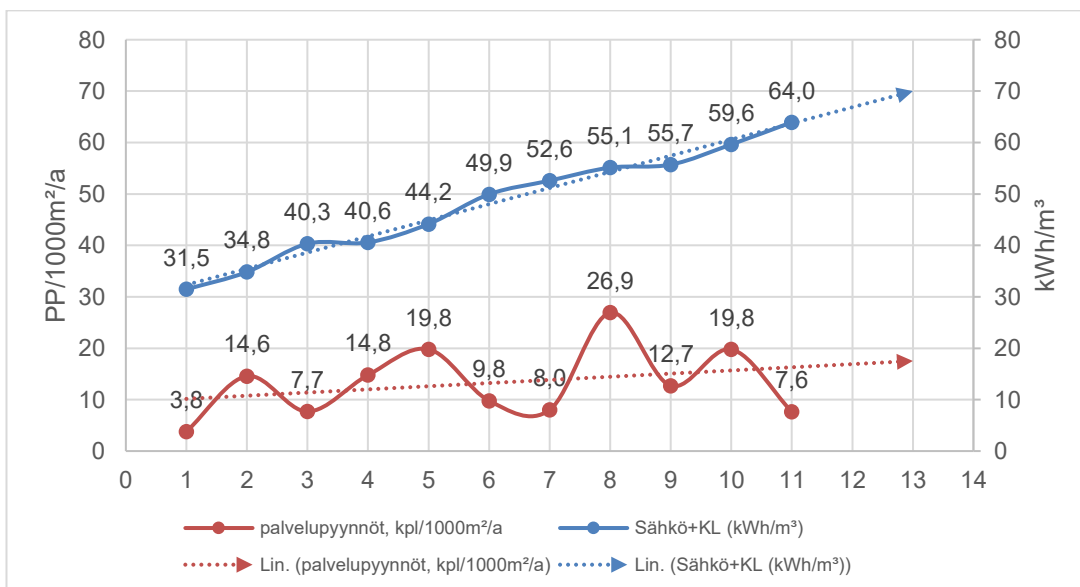
Kuva 5. Olosuhteiden pysyvyydet ja palvelupyyntöjen määrät.



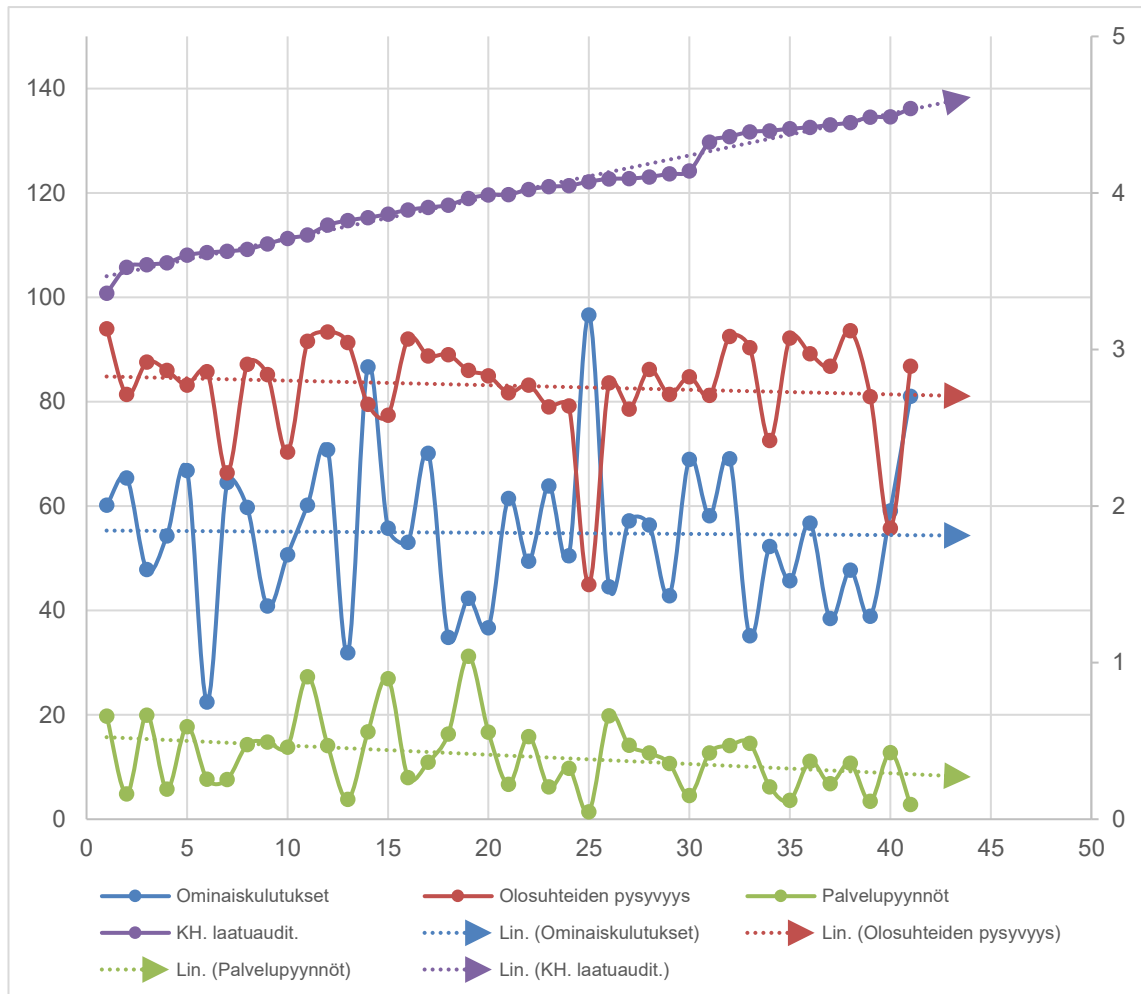
Kuva 6. Olosuhteiden pysyvyydet ja kiinteistöhoidon laatuauditoinnin arvostukset.



Kuva 7. Kokonaisenergian ominaiskulutukset ja kiinteistöhoidon laatuauditoinnin arvosanat.



Kuva 8. Kokonaisenergian ominaiskulutukset ja palvelupyyntöjen määrät.



Kuva 9. Laajempi vertailujoukko. Eri tekijöiden suhde kiinteistöhoidon laatuau-
ditoinnin arvosanoihin.

Korrelaatiomatriisit

Taulukko 1. Korrelaatiomatriisi ja korrelaatiokertoimet taulukkoarvojen välillä alkumäärittelyt täyttäviin rakennuksiin.

Paikkakunta	Ominaiskulutukset	Olosuhteiden pysyvyys	Palvelupyynnöt	KH. Laatuaudit.
Rauma	64	66	8	3,63
Hyvinkää	60	94	20	3,36
Nurmes	56	86	13	4,10
Kuopio	55	77	27	3,87
Vaasa 3	53	92	8	3,89
Vaasa 2	50	79	10	4,05
Seinäjoki	44	84	20	4,09
Kotka	41	85	15	3,68
Vantaa	40	86	8	3,62
Rovaniemi	35	90	15	4,39
Vaasa 1	31	91	4	3,83

	Ominaiskulutukset	Olosuhteiden pysyvyys	Palvelupyynnöt	KH. laatuaudit.
Ominaiskulutukset	1,000			
Olosuhteiden pysyvyys	-0,469	1,000		
Palvelupyynnöt	0,270	-0,044	1,000	
KH. laatuaudit.	-0,371	0,058	0,038	1,000

Taulukko 2. Korrelaatiomatriisi ja korrelaatiokertoimet taulukkoarvojen välillä, laajennettu vertailujoukko.

Paikkakunta	Ominaiskulutukset	Olosuhteiden pysyvyys	Palvelupyynnöt	KH. laatuaudit.
Hyvinkää	60,2	94,0	19,8	3,4
Pieksämäki	65,4	81,4	4,9	3,5
Kajaani	47,9	87,6	20,0	3,5
Pori	54,3	86,0	5,8	3,6
Tampere	66,8	83,2	17,7	3,6
Vantaa	22,5	85,8	7,7	3,6
Rauma	64,5	66,4	7,6	3,6
Turku	59,7	87,2	14,3	3,6
Kotka	40,9	85,2	14,8	3,7
Oulu	50,7	70,4	13,8	3,7
Helsinki	60,2	91,6	27,3	3,7
Helsinki	70,8	93,4	14,1	3,8
Vaasa	31,9	91,3	3,8	3,8
Kuopio	86,7	79,5	16,7	3,8
Kuopio	55,7	77,4	26,9	3,9
Vaasa	53,1	92,0	8,0	3,9
Helsinki	70,2	88,8	10,9	3,9
Kemi	34,8	89,0	16,3	3,9
Kuopio	42,3	86,0	31,2	4,0
Kemi	36,7	85,0	16,7	4,0
Vaasa	61,5	81,8	6,7	4,0
Turku	49,5	83,2	15,9	4,0
Turku	63,8	79,0	6,2	4,0
Vaasa	50,5	79,2	9,8	4,0
Vantaa	96,6	45,0	1,4	4,1
Seinäjoki	44,6	83,6	19,8	4,1
Tampere	57,2	78,6	14,2	4,1
Nurmes	56,4	86,2	12,7	4,1
Tampere	42,8	81,4	10,7	4,1
Turku	69,0	84,8	4,6	4,1
Rovaniemi	58,2	81,2	12,7	4,3
Helsinki	69,1	92,5	14,1	4,4
Rovaniemi	35,1	90,4	14,6	4,4
Jyväskylä	52,3	72,6	6,2	4,4
Ylivieska	45,7	92,2	3,6	4,4
Helsinki	56,8	89,2	11,1	4,4
Jyväskylä	38,4	86,8	6,8	4,4
Helsinki	47,7	93,6	10,8	4,5
Jyväskylä	38,9	81,0	3,4	4,5
Helsinki	59,1	55,8	12,8	4,5
Helsinki	81,1	86,8	2,9	4,5

	Ominaiskulutukset	Olosuhteiden pysyvyys	Palvelupyynnöt	KH. laatuaudit.
Ominaiskulutukset	1,000			
Olosuhteiden pysyvyys	-0,371	1,000		
Palvelupyynnöt	-0,132	0,212	1,000	
KH. laatuaudit.	-0,032	-0,085	-0,305	1,000