

FInZEB -HANKE



Lähes nollaenergiarakennusten käsitteet, tavoitteet ja suuntaviivat kansallisella tasolla

TAUSTARAPORTTI 5

LASKENTASÄÄNNÖT

20.03.2015

Granlund Oy / Erja Reinikainen

Sisältö

1	Johdanto.....	3
2	Laskentasäännöt.....	4
3	Laskentasää	5
4	Lämmin käyttövesi.....	5
4.1	Asuinkerrostalot.....	5
4.2	Koulut ja päiväkodit.....	7
4.3	Liikerakennukset	8
4.4	Käyttöveden kierron häviöt	9
5	Laitekuorma.....	10
5.1	Toimistorakennukset.....	10
5.2	Asuinkerrostalot.....	11
6	Kiinteistösähkö.....	13
6.1	Toimistorakennukset.....	13
6.2	Asuinkerrostalot.....	14
7	Mukavuuslattialämmitys.....	15
8	Muita kommentteja ja laskentasääntöjen tarkennustarpeita.....	16
8.1	Kylmäsiilat.....	16
8.2	Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto	16
8.3	Ilmanvaihdon sfp-luku	16
8.4	Tarpeenmukainen ilmanvaihto	16
8.5	Valaistus.....	17
8.6	Aurinkokeräimet.....	17
8.7	Aurinkosähkö	17
8.8	Ilmalämpöpumppu	17
8.9	Hybridilämmitysjärjestelmät.....	18
8.10	Takka.....	18
8.11	Lämmön talteenotto jätevedestä.....	18

1 Johdanto

FInZEB-hankkeen Loppuraportin (Sisältö ja tulokset) lisäksi hankkeessa on laadittu useita teknisiä raportteja, jotka julkaistaan hankkeen www-sivuilla osana Taustaraporttia.

Tämä on Taustaraportin osa 5, Laskentasäännöt.

Taustaraportti koostuu seuraavista osaraporteista:

1	Kustannuslaskenta – asuinkerrostalo ja toimisto	Optiplan Oy
2	Pientalojen kustannuslaskenta ja E-luku	Insinööritoimisto Vesitaito Oy
3	Kustannuslaskenta – koulut ja päiväkodit	Granlund Oy
4	Energiaa säästävät tekniset ratkaisut	Granlund Oy
5	Laskentasäännöt	Granlund Oy
6	Aurinkosähkötarkastelut	Granlund Oy
7	Tulevaisuuden sää ja sisälämpötilatarkastelut	Granlund Oy
8	Pilottikohteiden kokemuksia	Granlund Oy
9	Energiantuotantoketjut – aineistoseelvitys	Granlund Oy
10	Valaistuksen laadullisten tekijöiden ja energialaskennan määrittely FInZEB-hankkeelle	Tampereen ammattikorkeakoulu

Tässä raportissa tarkastellaan E-lukulaskentaan liittyviä sääntöjä ja FInZEB-hankkeessa koottuja tietoja ja kokemuksia sekä ehdotetaan laskentasääntöjen tarkentamista joiltakin osin.

Nykyisellään laskentasääntöjä on esitetty useassa eri paikassa (D3, D5, energiatodistusopas, LTO-moniste 122, erilliset ohjeet), sillä ohjeita on laadittu eri tarkoituksiin ja eri ajankohtina. Laajasta materiaalista tiedon löytäminen voi olla vaikeaa, joten energialaskentaa tekevien keskuudessa syntyy todennäköisesti erilaisia tulkintoja.

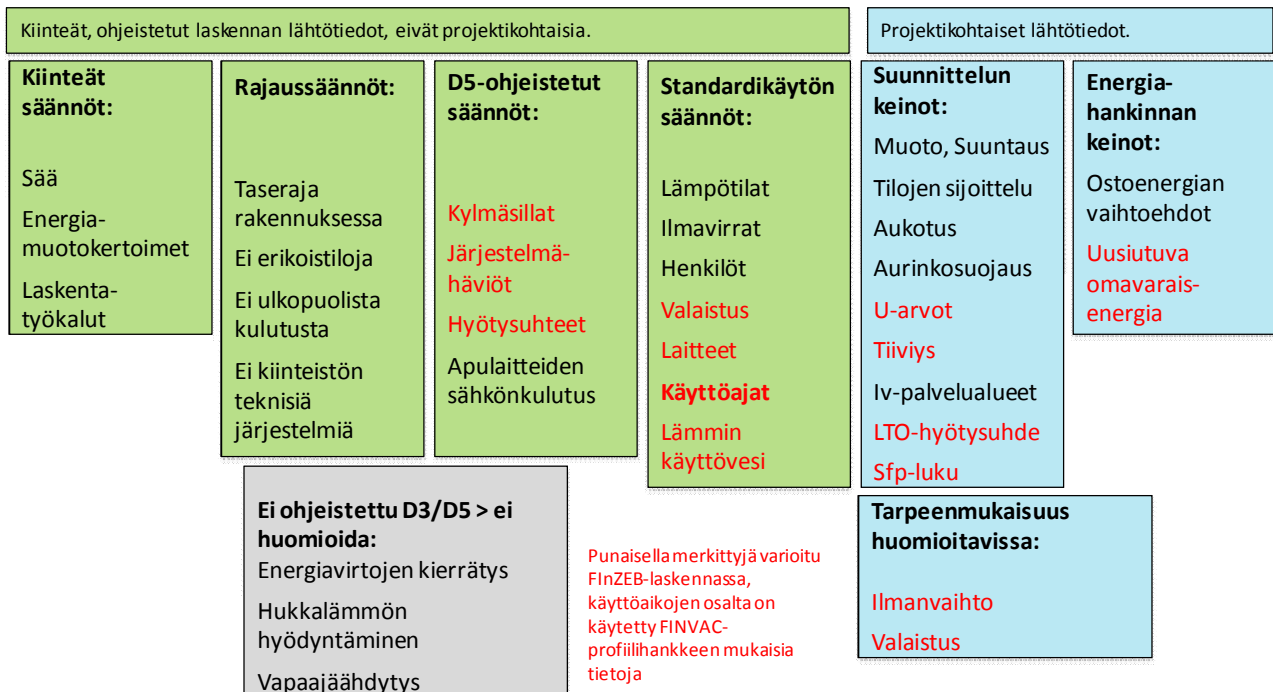
Ohjeistuksen yhteenveto keskeisten asioiden osalta tai vähintään ohjeiden lukuohjeen laadinta selkeyttäisi tilannetta.

2 Laskentasäännöt

Nykyisten rakentamismääräysten (D3/2012) kokonaisenergiatarkastelulle ja E-luvun laskennalle on määräyksissä määritelty joukko laskentasääntöjä ja ohjeita on täydennetty ohjearvoin ja laskentaohjein määräyksiin liittyvissä ohjeissa (D5). Näitä sääntöjä on esitetty alla olevassa kuvassa.

Vihreissä laatikoissa kuvataan laskennan kiinteitä sääntöjä, jotka mahdollistavat laskentatulosten vertailun tietyn rakennustyyppin puitteissa. Sinisissä laatikoissa on esitetty laskennan parametreja, joihin voidaan vaikuttaa suunnitteluratkaisuilla (arkkitehtuuri, rakennesuunnittelu, talotekninen suunnittelu). Nämä arvot vaihtelevat kohdekohtaisesti ja näitä muuttamalla voidaan vaikuttaa kyseisen kohteen E-lukuun merkittävästi. Harmaassa laatikossa kuvataan ominaisuuksia, joita nykyisessä E-lukulaskennassa ei ole joko ohjeistettu tai joita ei ole mahdollista huomioida.

Kuvassa punaisella näkyviä parametreja on varioitu FInZEB-hankkeen energialaskennoissa energiaa säästävinä toimenpiteinä ja tarkasteltu niiden muutoksen vaikutusta kunkin rakennustyyppin esimerkkirakennusten ostoenergian kulutukseen ja E-lukuun.



Kuva 1 E-lukulaskennan sääntöjä

Käytön ja kuormituksen osalta perustapauksen laskenta toteutettiin käyttäen D3/2012 mukaisia rakennustyyppikohtaisia standardiolosuhteita ja kuormitustietoja (henkilöt, valaistus ja käyttäjälaitteet). Näitä arvoja muutettiin säästötoimenpidetarkasteluissa.

Kuormien käyttöaikoina käytettiin ns. FINVAC ry:n toimesta käynnistetyssä profiilihankkeessa määriteltyjä käyttöaikoja, joiden avulla voidaan huomioida käytön ja kuormituksen vaihtelua jossakin määrin.

3 Laskentasää

Energiasimuloinnit toteutettiin käyttäen D3/2012 laskentasäätä (säävyöhyke I, Helsinki-Vantaan vuosisää). Lähtökohtana nzeb-tasojen laskennassa oli, että laskentasää ei muutu nykyisestä lähes nollaenergiatarkastelujen tullessa vaatimukseksi.

FinZEB-hankkeessa huipputeho-, energia- ja yllämpenemistarkasteluja tehtiin normaalin laskentasään lisäksi Ilmatieteen laitoksen julkaisemilla tulevaisuuden vuosisääskenaarioilla (Helsinki 2050 ja Helsinki 2100).

Näiden tarkastelujen tulokset on esitetty **Taustaraportissa 7 Tulevaisuuden sää ja sisälämpötilatarkastelut**.

Johtopäätöksenä oli, että ilmaston muuttumisen vaikutukset tulee tiedostaa ja laskentavuosisää tulee päivittää, mutta päivitykselle ei ole välitöntä tarvetta. Jossakin vaiheessa tulisi siirtyä lämpötilatarkasteluissa käyttämään 2050 laskentasäätä. Yllämpenemistarkastelujen ohjeistuksen täsmentäminen on tarpeen uuden säätiedoston käyttöönottovaiheessa.

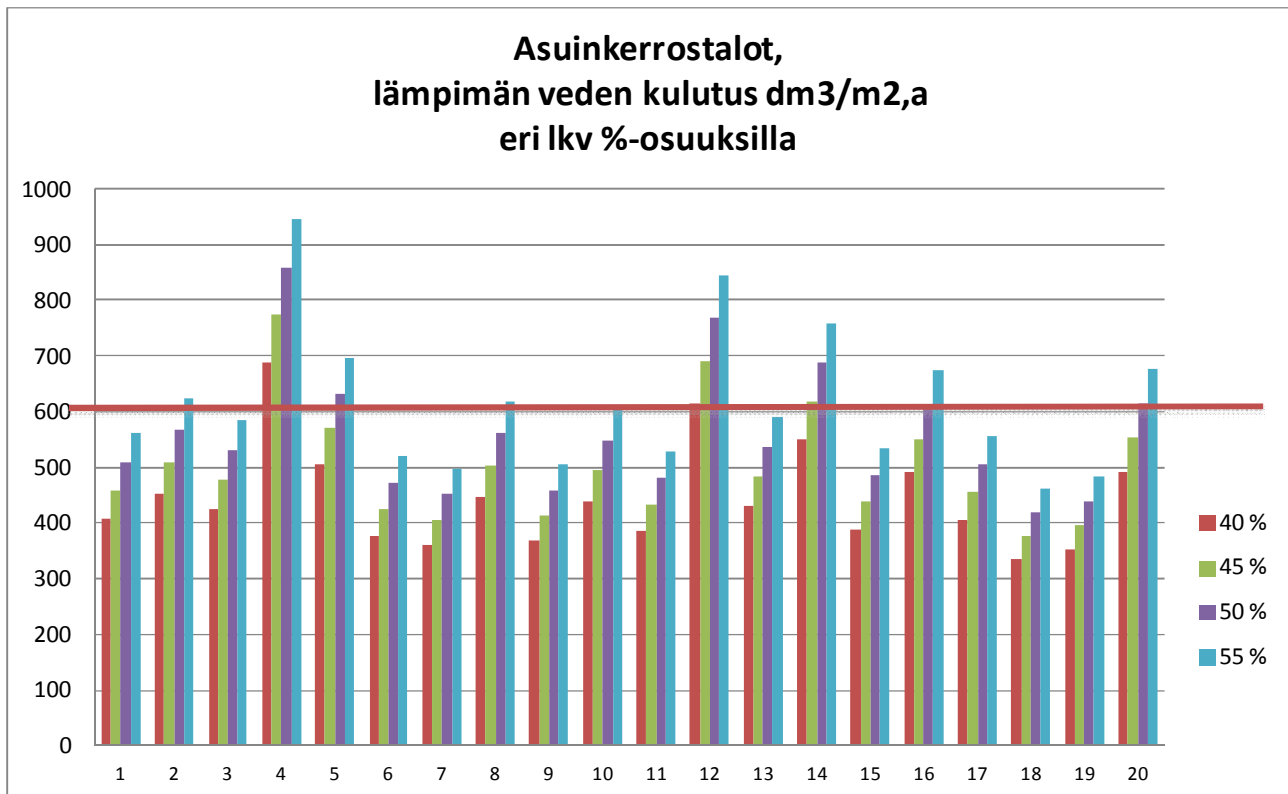
4 Lämmin käyttövesi

Määräystenmukaisuuden tarkastelussa käytetään nykyisin lämpimän käyttöveden määränä eri rakennustyypeissä D3/2012 standardiarvoja. Tässä hankkeessa tarkasteltiin joidenkin rakennustyyppien osalta ovatko kyseiset arvot paikkansapitäviä uusissa rakennuksissa.

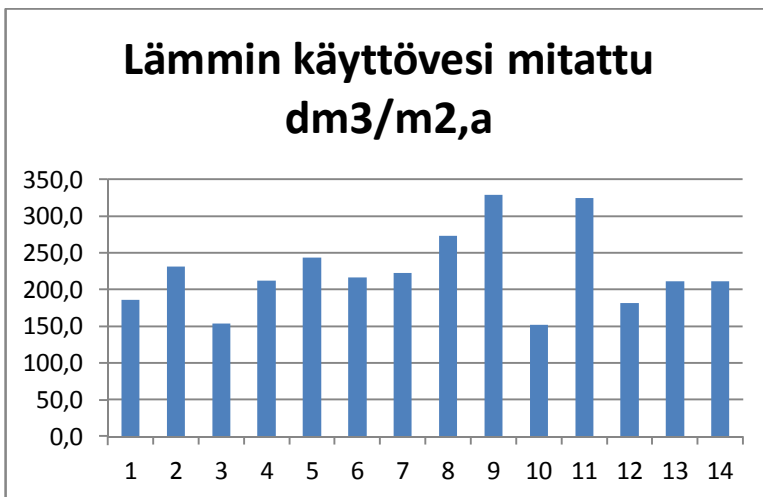
4.1 Asuinkerrostalot

Uusista vuokra-asutokerrostaloista saatiin vedenkulutustietoja 20 kohteesta. Lämpimän käyttöveden kulutusta ei näissä ole erikseen mitattu, mutta kulutustasoa arvioitiin olettamalla lämpimän käyttöveden kulutusosuudeksi 40-55% kokonaisvedenkulutuksesta. Tarkastelun perusteella 14 kohteessa lämpimän veden määrä on alle D3/2012 ohjearvon $600 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$, jopa kulutusosuudella 55%. Jos kulutusosuus on 50%, on 20 kohteen keskiarvokulutus $557 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$ ja kulutusosuudella 45% $502 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$ ja kulutusosuudella 40% $446 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$.

Toisessa otoksessa 14 uudehkon asuntoyhtiön toteutuneiden laskennallisten lämpimän käyttöveden kulutustietojen ja toteutuneiden kulutusten ero oli merkittävä. Kohteet kuluttivat merkittävästi ennakoitua vähemmän lämmintä vettä. Keskimäärin lämpimän veden lämmitysenergian kulutus oli alle puolet ennusteesta ja noin $12 \text{ kWh}/\text{m}^2, \text{a}$. Tarkastellut kohteet olivat hyvin erikokoisia, suurimmissa yhtiöissä asuntoja oli kolminkertainen määrä pieniin kohteisiin verrattuna. Kohteiden pinta-ala vaihteli noin 2000 neliöstä noin 6500 neliöön.



Kuva 2 Erilaisilla %-osuuksilla kokonaisvedenkulutuksesta laskettu lämpimän veden määrä asuinkerrostaloissa (20 kohdetta)



Kuva 3 Toteutunut lämpimän käyttöveden kulutus asuinkerrostaloissa (14 kohdetta)

Johtopäätös:

Yllä esitetyistä tuloksista voidaan päätellä, että nykyistä lämpimän veden standardikäytön arvoa voitaisiin alentaa 600 dm³/m²,a > 500 dm³/m²,a. Tämä olisi nykyistä oletusarvoa todenmukaisempi oletusarvo, mutta ei vielä liian optimistinen todellisiin kulutustasoihin nähden.

Toinen mahdollisuus olisi sallia perustasoa ($600 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$) alaisemman standardikäytön arvon ($500 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$) käyttö silloin, kun kohteessa on kiinnitetty erityistä huomiota veden säästöön: esimerkiksi paineenalennusventtiili, vettä säästävät suihkut, jne.

Lämpimän käyttöveden oletusarvon muutoksen vaikutus E-lukuun on asuinkerrostaloissa noin $-5 \text{ kWh}/\text{m}^2, \text{a}$, joten perustasoa paremmalla suunnittelulla olisi näin saavutettavissa jonkin verran E-lukuhuotyä.

4.2 Koulut ja päiväkodit

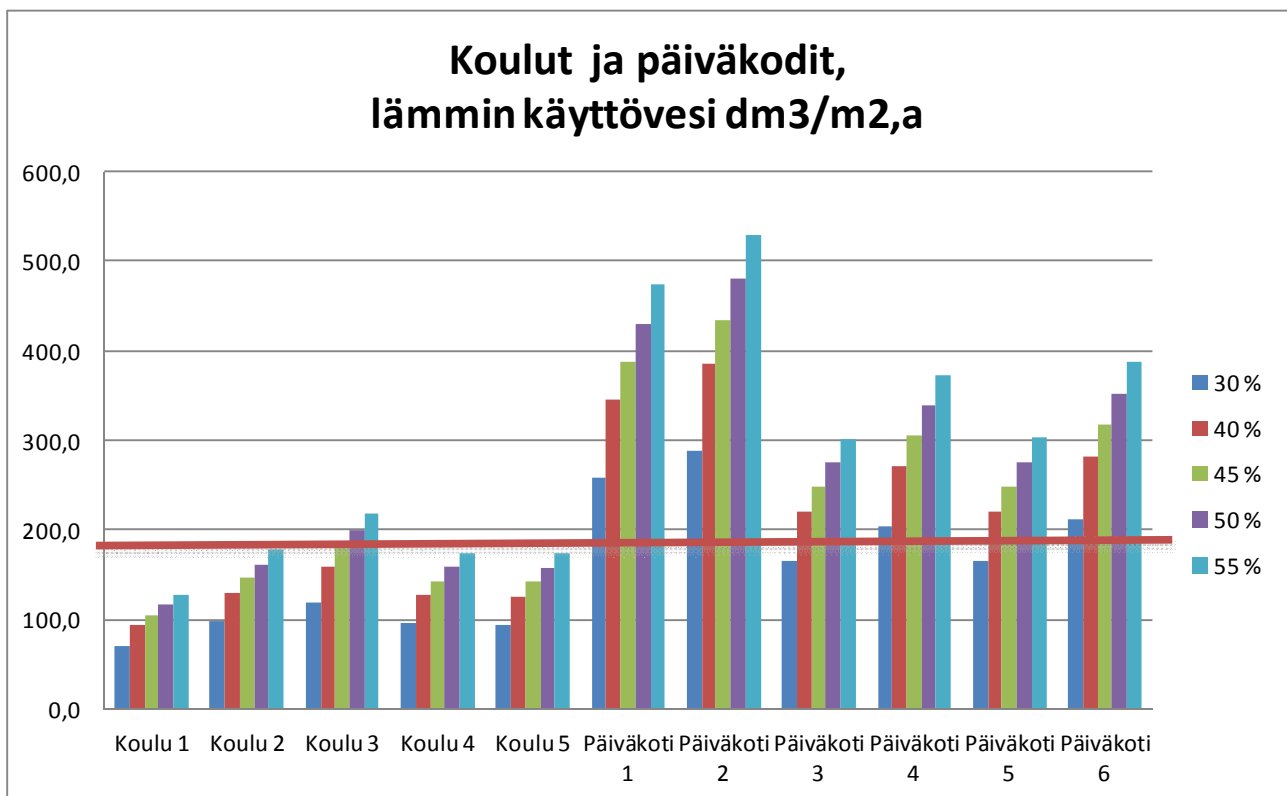
Koulujen ja päiväkotien osalta lämpimän käyttöveden standardikäyttö D3/2012 mukaisesti on ollut sama molemmissa rakennustyypeissä ($188 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$). Viime vuosina toteutetuissa kohteissa on kuitenkin osoittautunut, että päiväkodeissa lämpimän veden ominaiskulutus on selkeästi korkeampi kuin kouluissa.

Toteutuneita kulutuksia tarkasteltiin viidessä uudessa koulussa ja kuudessa uudessa päiväkodissa. Kohteiden veden kulutuksissa kolmen vuoden jaksolla ei ole ollut merkittäviä poikkeamia. Kahdessa pinta-alaltaan pienimmässä päiväkodissa veden ominaiskulutus on selvästi suurempi kuin neljässä muussa. Syynä korkeaan kulutukseen on todennäköisesti kohteissa sijaitseva vesileikkihuone.

Lämpimän veden kulutusta ei ole kohteissa erikseen mitraroitu, joten oletettiin kulutusosuuden olevan 30-55%.

Kouluille 40% kulutusosuudella laskettu keskiarvo on $127 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$ ja 45% kulutusosuudella laskettu $143 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$. On siis todennäköistä, että lämpimän veden kulutus on kouluissa tasoa $140 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$.

Päiväkodeissa 40% kulutusosuudella laskettu keskiarvo on $287 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$ ja 45% kulutusosuudella laskettu $323 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$. On siis todennäköistä, että lämpimän veden kulutus on päiväkodeissa tasoa $300 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$.



Kuva 4 Toteutunut lämpimän käyttöveden kulutus kouluissa ja päiväkodeissa (11 kohdetta)

Johtopäätös:

Tältä osin laskentasääntöjen tarkistaminen on tarpeen. Nykyistä lämpimän veden standardikäytön arvoa voitaisiin alentaa kouluissa $188 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a} > 145 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$.

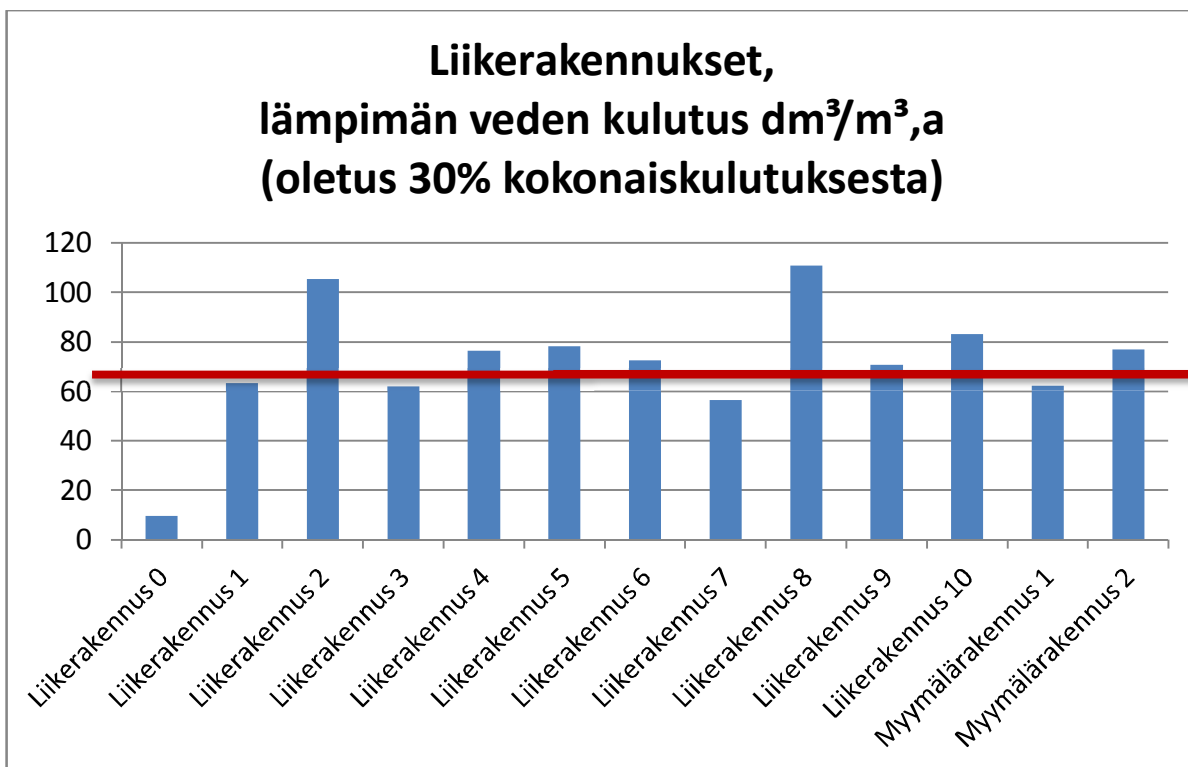
Päiväkodeille puolestaan nykyistä lämpimän veden standardikäytön arvoa voitaisiin korottaa $188 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a} > 300 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$.

Muutoksen vaikutus E-lukuun on kouluissa $-2 \text{ kWh}/\text{m}^2, \text{a}$ ja päiväkodeissa $+5 \text{ kWh}/\text{m}^2, \text{a}$.

4.3 Liikerakennukset

Liikerakennuksille D3/2012 lämpimän käyttöveden kulutuksen standardiarvo on $68 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$ ja majoitusliikerakennuksille $685 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$.

Suppea otos liike- ja myymälärakennuksia (13 kpl) osoittaa lämpimän veden ominaiskulutuksen suuret erot selvästi. Kulutukset vaihtelevat $60\text{-}120 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$ välillä. Todennäköisesti kohteen ravintolatoimintojen määrä on kulutusvaihtelun syynä.



Kuva 5 Toteutunut lämpimän käyttöveden kulutus myymälä- ja liikerakennuksissa (13 kohdetta)

Noin 300 myymälä-, liike- ja kauppakeskusrakennuksen toteutuneista lämmön ja veden kulutuksista on pääteltävissä, että lämpimän veden kulutus riippuu oleellisesti myymälätyypistä ja tarjottavista palveluista. Ravintolatoiminnan laajuus sekä erikoistoiminnot (kuten esimerkiksi autojen pesukatu) vaikuttavat merkittävästi kulutukseen.

Alhaisimmillaan lämpimän veden kulutus on luokkaa $30\text{-}40 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$ pienissä ja yksinkertaisissa myymälärakennuksissa, joissa ei ole ravintolatoimintaa. Tavarataloissa ja kauppakeskuksissa lämpimän veden osuus on 3...4-kertainen (luokkaa $120 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$). Suurmyymälätasoisessa kohteessa kulutus on em. lukemien välillä, noin $80\text{-}90 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$. Kauppakeskuksille nykyinen oletusarvo on selkeästi liian alhainen.

Majoitusliikerakennukset kattavat myös vanhusten palvelutalot, hoitokodit ja kasarnit. Käytettävissä olleessa 21 hotellin otoksessa keskimääräinen lämpimän veden ominaiskulutus on $341 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$ eli siis selkeästi standardikäytön arvoa alaisempi. Ominaiskulutuksen kohdekohtaiset erot ovat suuret. Kasarnien toteutunut kokonaisvedenkulutus on suuruusluokkaa $650\text{-}750 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$. Tästä voidaan olettaa olevan noin puolet lämmintä vettä.

Tällä perusteella nykyinen majoitusliikerakennusten standardikäytön arvo $685 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$ vaikuttaisi hotellien ja kasarnien osalta liian korkealta. Palvelurakennuksia ja hoitokoteja ei tässä tarkasteltu.

Johtopäätös:

Käytettävissä olevien tietojen perusteella ja liike- ja myymälärakennusten erilaisuus tiedostaen nykyinen D3/2012 mukainen liikerakennusten standardikäytön mukainen lämpimän veden kulutus on oikealla tasolla. Liikerakennuksille on todennäköisesti vaikea löytää lämpimän veden kulutukselle standardiarvoa, joka soveltuisi kaikille liikerakennustyypeille.

Todellisen tavoitekulutuksen laskennassa tulisi huomioida kohdekohtainen ja toiminnot huomioiva lämpimän veden ominaiskulutus.

E-lukutarkastelu tehdään yleensä niin aikaisessa suunnitteluvaiheessa, että myymälä- ja liikerakennusten tilojen käyttäjät eivät ole tiedossa, joten myöskään veden kulutustietojen tarkempaan ennakointiin ei ole perustetta.

Majoitusliikerakennuksien osalta E-lukurajan alittaminen tuottaa jossakin määrin vaikeuksia, joten lämpimän veden kulutusosuuden alentaminen helpottaisi ongelmaa. Muutos voisi olla esimerkiksi $685 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a} > 500 \text{ dm}^3/\text{m}^2, \text{a}$.

Oikeamman kuvan saisi käyttämällä pienille myymälärakennuksille ja suurille kauppakeskuksille erilaisia lämpimän käyttöveden kulutuksia ja myös eriyttämällä hotellit ja asuntola- ja hoitokodit omiksi kulutusryhmikseen. Näin lämpimän käyttöveden osuus kokonaisenergiankulutuksesta tulisi todenmukaisemmin huomioiduksi. Haittapuolena on, että erilaiset laskenta-arvot monimutkaistavat laskentaa ja virheiden mahdollisuus kasvaa.

4.4 Käyttöveden kierron häviöt

Rakennustyyppien energiataarkasteluissa lämpimän käyttöveden kierron häviöt on huomioitu D5 ohjeiden mukaisesti (kiertojohton ominaislämpöhäviö ja kiertojohton oletuspituus). Kiertojohton pituus on D5:n mukaan asuinkerrostaloissa $0,043 \text{ m}/\text{m}^2$ ja toimistorakennuksissa $0,020 \text{ m}/\text{m}^2$. Kiertojohton ominaishäviönä käytetään yleisesti eristetyin putken arvoa $10 \text{ W}/\text{m}$. Tämä johtaa toimistorakennuksissa ja asuinkerrostaloissa tehoon, joka on tasoa $0,2\text{...}0,43 \text{ W}/\text{m}^2$.

Tätä häviötehoa on energiakonsulttien joukossa arvioitu epärealistiseksi ja laskentaperusteena olevaa kiertojohton ominaispituutta virheelliseksi.

Kaukolämpötoimittajan suorittamissa mittauksissa toimistorakennusten lämmitysteho vaihtelee kesällä rakennusten tyhjäkäyttöaikana $0,7\text{...}1,3 \text{ W}/\text{m}^2$. Tällöin rakennuksissa tuskin on muuta lämmitysenergian kulutusta kuin lämpimän käyttöveden kierron häviöt. Jos arvioidaan kyseisen tehon vaikuttavan läpi vuoden samansuuruisena, on kierron häviöenergia $7\text{...}11 \text{ kWh}/\text{m}^2, \text{a}$.

Johtopäätös:

Todelliset kiertojohton pituudet tulisi tarkistaa muutamassa tyypillisessä nykyrakentamista edustavassa asuinkerrostalo- ja toimistokohteessa.

Tulevaisuudessa putkistoeristeet, työmenetelmät ja valmiiksi eristetyt putkiratkaisut kehittyvät, joten on todennäköistä, että häviötehot alenevat.

5 Laitekuorma

Nykyisissä laskentasäännöissä standardikäytön laitekuorma kohdentuu tiloihin vain päiväaikaan, mutta todellisuudessa kuormaa on vaikuttamassa myös öisin. Erilaisten sähköä käyttävien järjestelmien ja laitteiden määrä on lisääntynyt, mutta toisaalta esimerkiksi toimistolaitteet kehittyvät energiatehokkaampaan suuntaan ja pöytätietokoneista on siirrytty kannettaviin koneisiin. Näistä lähtökohdista FInZEB-hankkeessa tarkasteltiin laitekuorman määrää ja käyttöaika.

5.1 Toimistorakennukset

Eräässä uudehkossa toimistorakennuksessa toteutetut laitesähkön kulutusmittaukset on toteutettu kerroksittain ja mitattu kulutus sisältää avotoimistotilojen käyttäjäsähkön eli pistorasiakuorman (atk-laitteet, taukokeittiöt). Tuntitason kulutusmittaukset osoittavat, että tyypillisen työpäivän aikana laitekuorma vaihtelee toimistotyöajan rytmissä siten, että yöajan kuormitus on 2-3 W/m² ja päivän huipputehot 8-9 W/m². Vuorokauden (24 h) keskikuormitus on yleensä 3-5 W/m².

D3/2012 mukaisen toimistorakennusten standardikäytön jakson pituus on 11 tuntia (07-18, ma-pe). Käyttäjälaitteiden kuorma ajoittuu tälle jaksolle eikä standardikäyttö tunne yöaikaista kuormitusta. Tällä periaatteella koko vuorokauden kuormitus laskettuna 11 tunnin käyttöjaksolle on toimistorakennuksessa alhaisimmillaan kesälomien aikana (noin 2-3 W/m²) ja korkeimmillaan talviajan arkipäivinä (9-11 W/m²). Arkipäivien 11 tunnin käyttöjakson keskimääräinen kuormitus 10-11 W/m² antaa suurin piirtein todellista vastaavan vuosikulutuksen tavanomaisen kuormituksen tiloissa. Pienemmällä henkilötiheydellä keskimääräinen 11 tunnin käyttöjakson laitekuorma on 7-8,5 W/m².

Johtopäätös:

Tästä voidaan päätellä, että standardikäytön mukainen laitekuorma toimistorakennuksissa (12 W/m²) on oikeaa suuruusluokkaa kun työpisteiden tiheys tiloissa on normaalia tasoa.

Tilatehokkuuden kasvaessa myös kuormitusaste kasvaa ja todellinen tilanne tulee huomioida tavoite-energiankulutuksen laskennassa ja jäähdytysjärjestelmän mitoituksessa.



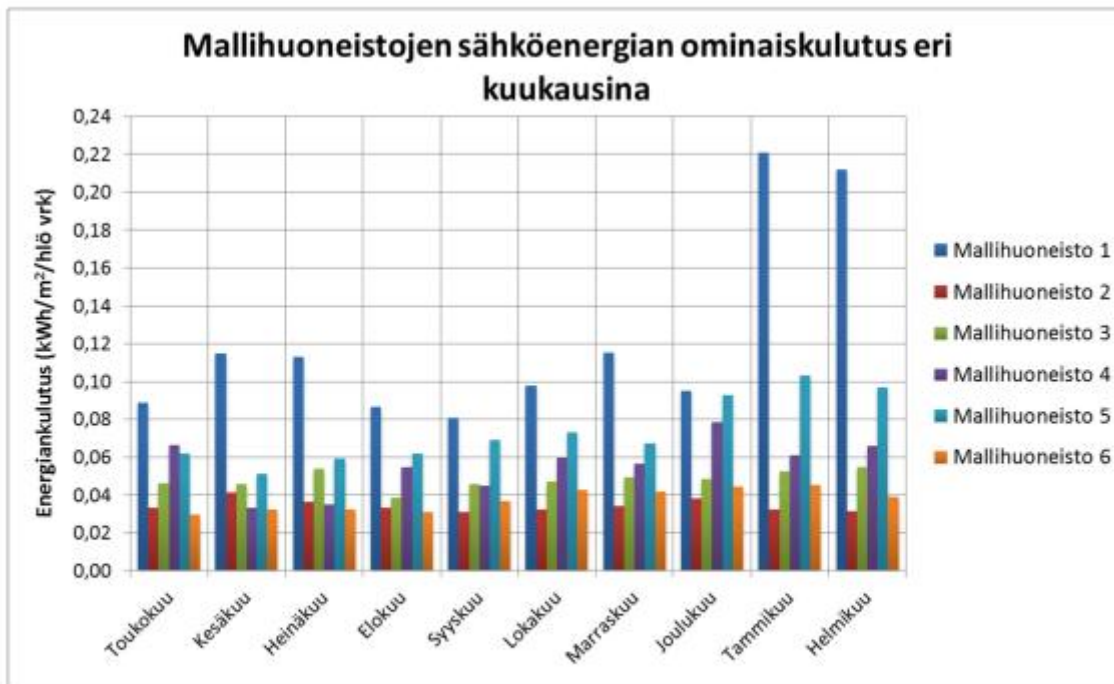
Kuva 6 Toimistotilojen pistorasiakuorma kolmessa eri kerroksessa kolmena eri päivänä

5.2 Asuinkerrostalot

Laskennallinen kulutus D3/2012 asuinkerrostalon standardikuormalla 4 W/m^2 ja keskimääräisellä käyttöasteella 0,6 vuorokauden käyttöajalla 24 h on $0,058 \text{ kWh/m}^2$ vuorokaudessa. Rivitaloasunnoille vastaavasti $0,043 \text{ kWh/m}^2$ vuorokaudessa.

Uudehkoissa asuinkerrostalossa toteutetun kattavan energiamittausjärjestelmän avulla selvitetiin esimerkkihuoneistojen energiankulutusta. Tässä tarkastelussa energiamittaus kattoi valaistus- ja laitesähkön (sisältäen saunan, keittiön elektroniikan, jne.). Pienimmillään vuorokausikulutus on noin $0,05 \text{ kWh/m}^2$ ja suurimmillaan yli $0,22 \text{ kWh/m}^2$.

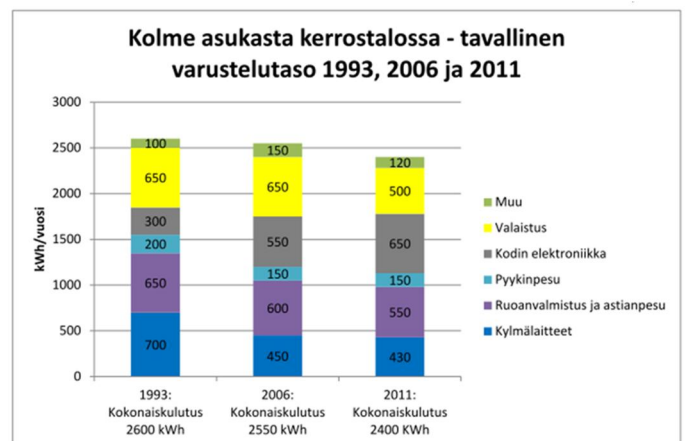
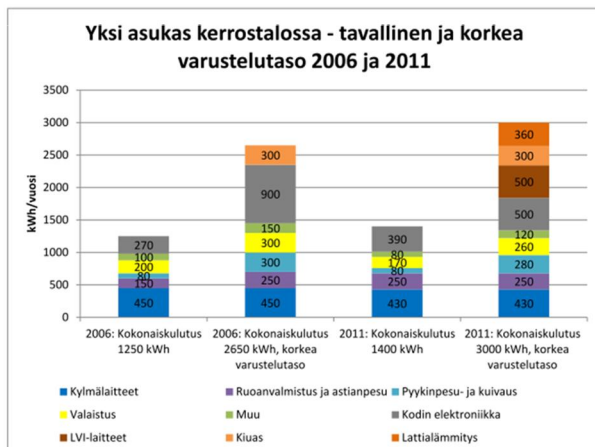
Talviukuukausina sähköenergiaa käytetään suhteessa enemmän kesäkuukausiin verrattuna (todennäköisesti valaistuksen vaikutus, mahdollisesti myös sähköinen iv-jälkilämmitys). Vaikka ominaiskulutukset vaihtelevat eri huoneistojen välillä, ominaiskulutuksen vaihtelu huoneistojen sisällä eri kuukausina muodostuu melko samanlaiseksi. Asuntojen henkilömäärä vaikuttaa kulutukseen: huoneistoissa, joissa on pienempi henkilötiheys, on suurempi ominaiskulutus (kWh/m^2).



Kuva 6.22 Mallihuoneistojen ominaisenergiankulutus eri kuukausina, kun indikaattoris- sa huomioidaan myös huoneiston asukasmäärä. Huoneistot, joissa on vähemmän asuk- kaita saavat suuremman ominaiskulutuksen.

Kuvan lähde Asuinkerrostalon energiankulutuksen hallinta älykään asukasportaalien avulla, Diplomityö Juuso Mäki, TTY 2013

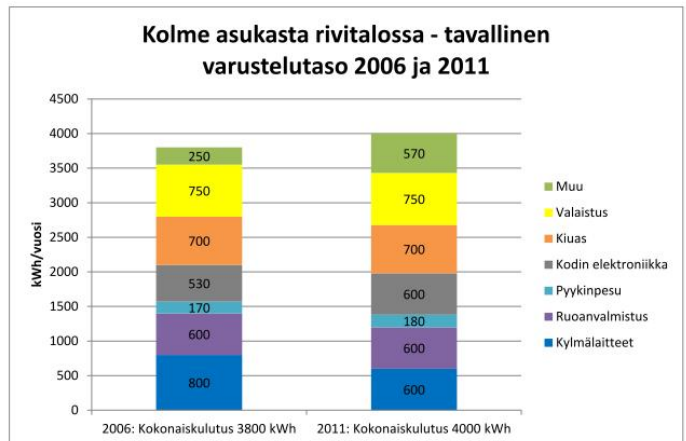
Sähkölaitteista aiheutuvaa kulutusta on käsitelty myös selvityksessä Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011, jonka raportti on julkaistu 2013. Kyseisestä selvityksestä muutama kuva:



Voidaan arvioida sähköenergian kulutuksen olevan asumismuodosta, asumisväljyydestä ja varustelutasosta riippuen 0,02-0,16 kWh/m², hlö, vrk ja 0,06-0,16 kWh/m²,vrk.

Korkea varustelutaso yhden hengen taloudessa johtaa suurimpaan yksikkökulutukseen.

Asuntojen koko on oletettu seuraavasti: yksiö 50 m², kerrostaloasunto kolmelle 80 m², rivitaloasunto kolmelle 100 m².



Johtopäätös:

Tästä voidaan päätellä, että laitekuorma asuinrakennuksissa on vaikeasti arvioitavissa ja riippuu enemmän asumisväljyydestä kuin varustelutasosta. Esimerkiksi saunan sisältävän rivitaloasunnon yksikkökulutus on pienempi kuin pienen saunattoman kerrostaloasunnon.

Nykyisillä standardikäytön arvoilla saadaan laitekuorman keskimääräinen taso eikä niitä ole aihetta muuttaa.

6 Kiinteistösähkö

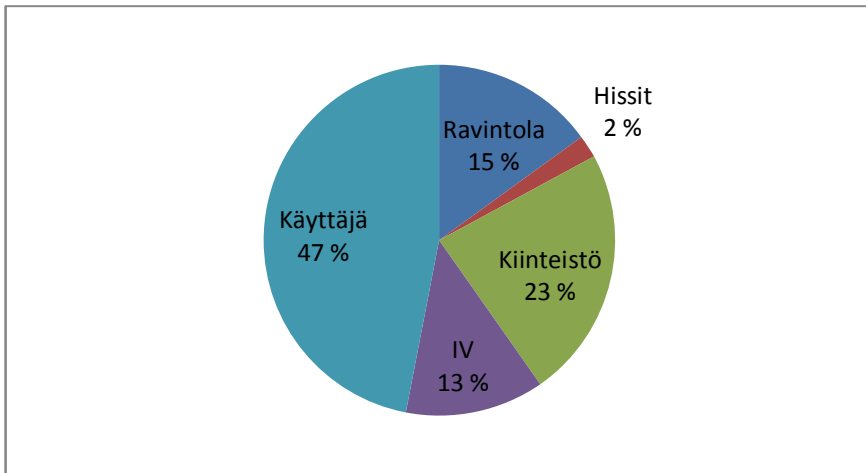
”Kiinteistösähköä” ei huomioida D3/D5-ohjeistetussa standardikäyttöön perustuvassa laskennassa. Ilmanvaihtokoneiden puhallinsähkö sekä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien apulaitteiden sähköenergia tulevat huomioituiksi, mutta muiden laitteiden ja järjestelmien kulutusta ei E-lukulaskennassa ole mukana.

Sähköenergian osuus kulutuksesta kasvaa, sähköä käyttäviä järjestelmiä on nykyaikaisessa rakennuksessa paljon. Silti tutkittua tietoa rakennusten kiinteistösähkön kulutuksen kehitymisestä ja etenkin jatkuvan pohjatehon vaikutuksesta on varsin vähän saatavilla. Liike- ja palvelurakennuksissa huipputehot ovat pienentymässä, mutta ”pohjakuormat” kasvamassa.

Tässä tarkastellaan kiinteistösähkön kulutusjakaumaa ja pohjatehon aiheuttajia. Tarkastelun tarkoituksena on herättää pohdintaa siitä, tulisiko E-lukulaskentaan ottaa mukaan kiinteistön järjestelmistä aiheutuvaa jatkuvaa kulutusta.

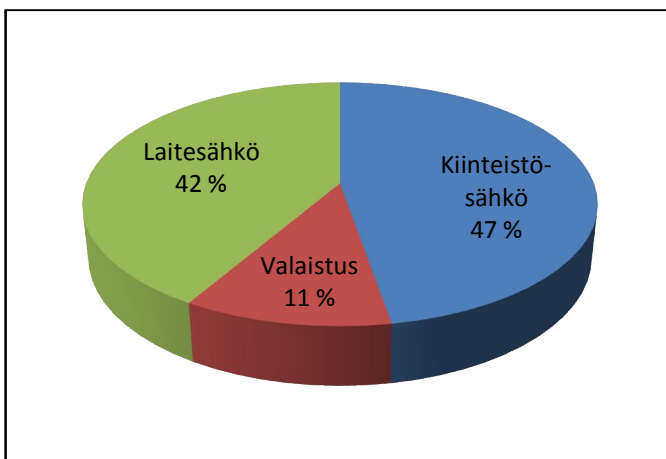
6.1 Toimistorakennukset

Uudehkossa toimistorakennuksessa A sähköenergian kokonaiskulutuksesta laskettu ominaiskulutus on noin 40 kWh/m²,a. Kulutuksesta noin puolet on käyttäjän laitesähköä ja noin 15% lounasravintolan osuutta, loput kiinteistön kulutusta. Ilmanvaihdon osuus on noin 5,4 kWh/m²,a ja hissien noin 0,9 kWh/m²,a. Varsinainen ”kiinteistösähkö” 9,2 kWh/m²,a muodostuu seuraavista kuluttajista: kerrosten valaistus, vedenjäähdytyskoneet, pumput, ulkovalot, porrasvalot, rännisulatukset, jne. Ilmanvaihto, hissit ja kiinteistösähkö yhteensä on 15,5 kWh/m²,a.



Kuva 7 Toimistorakennuksen A kulutusjakauma

Toimistorakennuksessa B kokonaissähkön kulutus on noin 44 kWh/m²,a. Tässä kohteessa jäädytys on toteutettu maaenergiakentän avulla, joten kiinteistösähkössä ei ole vedenjäähdytyskoneita. Tässä tapauksessa kiinteistösähkön kulutus 20,7 kWh/m²,a on ilman kerrosten valaistusta, mutta sisältää ilmanvaihdon, pumput, ulkovalot, porrasvalot, rännisulatukset, hissit, jne. Kohteessa ei ole lounasravintolaa.



Kuva 8 Toimistorakennuksen B kulutusjakauma

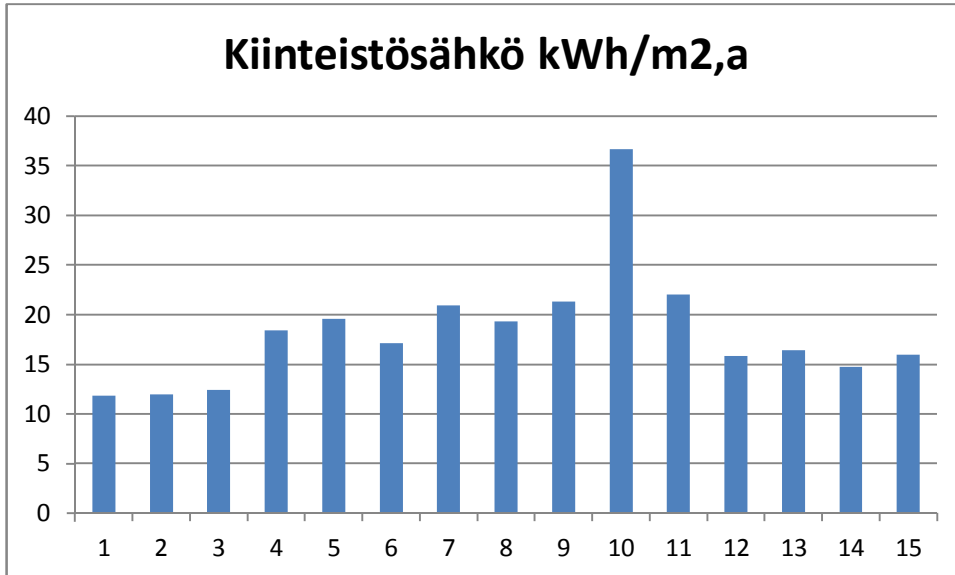
Tässä kohteessa rakennuksen yöaikainen sähköteho (ns. pohjakuorma) on noin 3 W/m². Sen aiheuttavat pääasiassa yöaikana käynnissä oleva erikoistilojen ilmanvaihto, LVI-järjestelmien pumput, yöajan sisävalaistus tietyissä tiloissa, ulkovalaistus, sähkö-, tele- ja datatilojen puhallinkonvektorit, tilojen käyttövalmiudessa olevat kahviautomaatit, yöksi toimintaan jäävät info- ja näyttötaulut, jne.

6.2 Asuinkerrostalot

Asuinrakennuksissa on teknisiä laitteita, jotka lisäävät sähkön jatkuvaa kulutusta (mm. ilmanvaihtolaitteet, lämpöpumput). Lämmitysjärjestelmiin on tullut laitteita, joiden huipputehot ovat suuria, mutta käyntiajat lyhyitä (mm. maalämpökojeet lisälämmitysvastuksineen).

Tarkasteltaessa 15 asuinkerrostalon kiinteistösähkön kulutusta todettiin, että toteutunut kulutus oli noin 25 % alhaisempi kuin laskennallinen kulutusennuste. Keskimääräinen kiinteistösähkön

ominaiskulutus oli 18 kWh/m²,a. Tässä kulutuksessa ovat mukana lämmitys- ja käyttövesijärjestelmän pumput, hissit, yleisten tilojen ilmanvaihto ja valaistus, mahdollinen keskitetyn ilmanvaihdon puhallinsähkö, ulkovalaistus, jne. Joissakin kerrostaloissa myös autolämmityspistorasioiden kulutus on kiinteistösähkössä.



Kuva 9 Kiinteistösähkön kulutus asuinkerrostaloissa (15 kohdetta)

Joskus on mainittu, että kulutuksen arvioinnissa voidaan käyttää tarkempien tietojen puuttuessa kiinteistösähkölle oletusarvoa 50 kWh/bm²,a . Mitattujen kulutuslukemien perusteella tämä oletusarvo on todella suuri.

7 Mukavuuslattialämmitys

Nykyisen D3-laskentasäännön mukaan silloin kun asuinhuoneissa on vesikiertoinen lämmitys ja märkätiloissa sähköinen lattialämmitys, on niiden osuus tilojen lämmitysenergian nettotarpeesta arvioitava. Ellei laskelmin toisin osoiteta niin 50% tilojen lämmitysenergian nettotarpeesta kohdistuu märkätilojen sähköiselle lattialämmitykselle ja 50% asuinhuoneiden lämmitysjärjestelmälle.

Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 ei ole annettu tarkkoja laskentasääntöjä, kuinka kylpyhuoneiden osuus tulee määrittää. Tämä voi aiheuttaa vaihtelua tuloksiin. Esimerkkikohteissa suoritettavat laskelmat osoittavat, että 50/50% menetelmä kohdentaa huomattavan suuren osuuden lämmitysenergiasta sähköisen lämmityksen piiriin.

Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 ohjeavoksi annettu **50 %** on mukavuuslattialämmityksen osuus **asuntojen tilalämmityksestä** eikä huomioi yleisten tilojen lämmitystarvetta.

Kylpyhuoneiden pinta-ala suhteessa asuntojen alaan sekä kylpyhuoneiden sijoittelu rakennuksessa vaikuttavat niiden lämmitystarpeeseen. Esimerkkirakennuksessa kylpyhuoneiden pinta-ala vaihtelee 5,5 - 14 m², keskiarvon ollessa 10,5 m². Kylpyhuoneista noin puolet sijoittuu rakennuksen keskiosiin ja noin puolet reunoille ulkoilmaa vasten. Reunoilla olevissa kylpyhuoneissa on pieniä ikkunoita sekä osassa lasitetut parvekkeen ovet.

Esimerkkikohteen simuloinnin perusteella kylpyhuoneiden vuoden aikainen lämmityksen huipputeho on noin 8 W/m², joka voidaan kattaa pelkällä lattialämmityksellä. Eli lisälämmityslaitteita ei tässä tapauksessa kylpyhuoneeseen tarvita.

Yhden asunnon tilalämmitystarpeesta mukavuuslattialämmityksen osuus vaihtelee asunnon koon ja kylpyhuoneiden sijainnin perusteella. Tyypillisesti arvo on noin 20 %.

Kaikkien simuloidun rakennuksen **asuntojen yhteenlasketusta tilalämmityksestä** mukavuuslattialämmitysten osuus on noin **20 %**. Lattialämmityksen osuus **koko asuinkerrostalon tilalämmityksen energiankulutuksesta** on noin **9-10 %**, tällöin kulutuksessa on mukana asuntojen lisäksi myös yleiset tilat (porraskäytävä, pohjakerroksen varasto-, tekniikka-, jne. tilat).

Prosenttiosuuksia arvioitaessa tulee myös huomioida, että E-lukulaskennassa käytetään D3-laskentasääntöjä sekä standardikäyttöä. E-lukulaskennan tulokset eivät kylpyhuoneiden mukavuuslattialämmityksen osalta vastaa rakennuksen todellista kulutusta. Todellisuudessa kylpyhuoneiden mukavuuslattialämmityksen osuus voi olla laskettua suurempi, mikäli kylpyhuoneita pidetään huomattavasti korkeammassa lämpötilassa (esim. 23-25°C verrattuna standardikäytön lämpötilaan 21 °C).

Pientaloissa mukavuuslattialämmitystä ei ole tarkasteltu. Jos rakennuksessa on vesikiertoinen lattialämmitys (kuten nykyisin usein), niin ei sähköisen kylpyhuonelämmityksen tarkastelu ole järkevää.

Laskentakäytäntöä olisi suositeltavaa täsmentää.

8 Muita kommentteja ja laskentasääntöjen tarkennustarpeita

8.1 Kylmäsillat

Rakenteiden kylmäsiltojen vaikutus huomioidaan yleensä D5 ohjearvojen mukaisena. Ohjeet on laadittu 2012 ja ne perustuvat noin 2008 suunniteltuihin rakenneratkaisuihin.

Onko rakentamiskäytännössä tapahtunut muutoksia ja onko esimerkiksi pyrkimys parempaan tiivyyteen muuttanut työtapoja niin, että kylmäsillat olisivat vähentyneet? Johtaako passiivitasoon eristäminen aina automaattisesti kylmäsiltojen vähenemiseen? Tyyppirakenteiden ja niiden liitosten tarkastelu olisi suositeltavaa ohjeiden päivityksen perusteeksi.

8.2 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenottoa koskevia ohjeita on monisteessa 122, jne. On todennäköistä, että energialaskijoiden keskuudessa kaikkia ohjeita ei tiedosteta tai ne tulkitaan eri tavoin.

Energialaskennan ohjeistusta tulisi täsmentää ilmanvaihdon lämmöntalteenoton tarkastelun osalta, jotta laskentaa suorittavat toimisivat yhdenmukaisella tavalla.

8.3 Ilmanvaihdon sfp-luku

Energialaskennan ohjeistusta tulisi täsmentää ilmanvaihdon sfp-luvun tarkastelun osalta, jotta laskentaa suorittavat toimisivat yhdenmukaisella tavalla.

Käytettäessä tarpeenmukaista ilmanvaihtoa muuttuu puhaltimien sähköenergian kulutus ilmavirran muuttuessa. Miten toimitaan sfp-luvun osalta näissä tapauksissa?

8.4 Tarpeenmukainen ilmanvaihto

Tarpeenmukaiseen ilmanvaihtoon liittyvät laskentasäännöt tulee täsmentää: millaisin kuormitusprofiilein tyypilliset tilakokonaisuudet käsitellään, mitkä ovat hyväksytyt minimi-ilmamäärät ja millaiseen olosuhdetasoon pyritään, jne. Käytetäänkö todellisia kuormitustietoja ja aikatauluja todellisten ilmamäärien kanssa vai pitäydytäänkö edelleen D3- tai Finvac-profiileissa vaikka käytettäisiin todellisia ilmamääriä?

Nyt tarpeenmukaiseen ilmanvaihtoon liittyviä ohjeita on rakentamismääräysten osassa D3, ohjeissa D5 sekä energiatodistusoppaassa. Tekeillä on myös uusi ohje.

8.5 Valaistus

Valaistuksen osalta energiatehokkaan suunnittelun ohjeistus kaipaa kehittämistä. Valaistuksen päivänvalo- ja läsnäolo-ohjaus vaikeita huomioida, D3/D5 vakiokertoimet eivät kuvaa säästöä. Valaistuksen tarpeenmukaisuuden laskentaan on tekeillä uudet ohjeet (Optiplan Oy).

FlnZEB-valaistusraportti ehdottaa:

Valaistusratkaisua tulee tarkastella kokonaisuutena, jossa huomioidaan mm. valaisinten asennustehot, käyttöprofiilit, päivänvalo, valaistava ympäristö ja erilaisten ohjausten ja valaistustilanteiden vaikutukset. Valaistuksen energiankulutus on moninaisten muuttujien summa, jonka laskenta tulisi tehdä ensisijaisesti mallintaen tai tarkkaan laskentaan perustuen. Laskennassa tarvittavien tilojen käyttöprofiilien ja muiden lähtötietojen määrittämisessä tulisi hyödyntää olemassa olevia valaistuksen energialaskentastandardeja, joita mm. mallinnusohjelmistot jo nykyisellään käyttävät.

Jos siirrytään käsittelemään valaistuksen LENI-lukua (kWh/m^2) sen energiatehokkuutta kuvaavana tekijänä ja lasketaan se standardin mukaan, niin luku ei ole välttämättä ”yhteensopiva” D3-standardikäytön kanssa. Lisäksi valaistus on huomioitava lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuksen laskennassa tiloihin kohdentuvana lämpökuormana (W/m^2).

8.6 Aurinkokeräimet

Aurinkolämmön tuotto keräineliometriä kohden on laitetoimittajien mukaan todellisuudessa huomattavasti parempi kuin D5:ssä esitetyt arvot ($125\text{-}156 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$). Todellisuudessa tuotto on $400\text{-}500 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ ja jopa $900 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ on mahdollista.

D5-ohjearvo tulisi päivittää todellisten tuottotietojen mukaiseksi, esimerkiksi tasolle $400\text{-}500 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$.

Todellista potentiaalia arvioitaessa tulisi käyttää kohdekohtaisia sijainti- ja suuntaustietoja sekä alustavan keräinmäärittelyn tuottotietoja.

Mikäli aurinkolämpöä käytetään tavanomaisesta käyttötavasta (lämpimän käyttöveden tuotanto) poikkeavalla tavalla, tulisi tehdä tarkempi simulaatio energian tuotosta todellisilla suunnitteluarvoilla. Lämpötilataso vaikuttaa keräinten energiantuottoon ja tämä tulisi huomioida erityisissä käyttötilanteissa.

8.7 Aurinkosähkö

FlnZEB-hankkeen Taustaraportissa 6 Aurinkosähkötarkastelut todetaan, että aurinkosähkön osalta laskentatavalla (tunti-kuukausi-vuositaso) on oleellinen merkitys tuloksiin. Aurinkosähkön tuotannon ja hyödyntämisen tarkastelut tulisi aina tehdä tuntitason laskentaa käyttäen.

FlnZEB-hankkeessa ehdotettu uusiutuvan energian ulosviennin huomioiminen edellyttää myös, että laskenta tapahtuu tuntitasolla vaikka ulosviennin periaatteena olisikin kuukausitaseeseen perustuva energiamäärä.

Tältä osin tarvitaan ohjeistuksen päivittämistä tai laskentaoppaan laatimista.

8.8 Ilmalämpöpumppu

D3 laskentasääntöjen mukaan ilma-ilmalämpöpumpulla tuotetun lämpöenergian määräksi voidaan huomioida 1000 kWh/a . Pientalojen osalta tämä arvo ei vastaa todellisuutta ja nykyteknologialla saavutettavia arvoja.

Meneillään on ympäristöministeriön tilaama selvitys ilmalämpöpumppujen tehosta. Selvityksen valmistuttua laskentasääntöä tulisi päivittää.

8.9 Hybridilämmitysjärjestelmät

Tulevaisuudessa erilaiset hybridilämmitysratkaisut yleistyvät etenkin asuntorakentamisessa. Laskentasääntöjen ja laskentaperusteiden täsmentäminen on todennäköisesti tarpeen etenkin käsiteltäessä erilaisia yhdistelmiä yhdistelmissä (poistoilmalämpöpumput, ilma-vesi-lämpöpumput, maalämpöpumput, aurinkolämpö, tulisijat).

8.10 Takka

D3/2012 ohjeistaa huomioimaan pientalon takan lämmityksen ostoenergiaa vähentävänä siten, että varaavasta tulisijasta tilaan saatavaksi lämmitysenergiaksi voidaan laskea enintään 2000 kWh/a. Takan käyttöprofiilia ei ole huomioitu, joten tämä on keskimääräinen arvio hyödyksi saatavasta vuosienergiasta.

Pilottikohteiden kokemusten mukaan pientaloissa takan käyttö on lämmitystarkoituksessa varsin vähäistä. Todennäköistä on, että takkaa käytetään pääasiassa ”tunnelman tuojana” ja käyttö painottuu talviviikonloppuihin. Laskentaohjeen mukaisella arvolla 2000 kWh/a voi olla useimmissa tapauksissa selkeästi yliarvioitu merkitys.

Laskentaohjetta tulisi täsmentää määrittelemällä esimerkiksi kaksi erilaista oletusarvoa tilanteelle, joissa takka on oleellinen osa lämmitysjärjestelmää ja tilanteelle, jossa takka on tarkoitettu ”sisustuselementiksi” ja tulee pääsääntöisesti satunnaiseen käyttöön. Tapaukset voitaisiin määritellä esimerkiksi tulisijojen hyötysuhdearvojen ja standardien perusteella siten, että tietyn polttohyötysuhteen alittavat tulisijat jäisivät lämmityshyödyn kannalta tarkastelun ulkopuolelle.

8.11 Lämmön talteenotto jätevedestä

Jäteveden lämmöntalteenottoratkaisut kehittyvät ja on todennäköistä, että niitä tulee lisää markkinoille tulevina vuosina. Nykyisten laskentaohjeiden mukaan lämmöntalteenotto jätevedestä voidaan ottaa laskemissa huomioon D5 kaavan mukaan. Tarkempaa ohjeistusta asiasta ei ole, joten energiaselvityksen laatija tekee erillisselvityksen toteuttamastaan laskennasta.

Käytännössä asiaa on tulkittu siten, että jätevedestä talteen otettava energiamäärä huomioidaan lämpimän käyttöveden nettoenergiaa vähentävänä tekijänä. Se ei ole silloin suoraan ostoenergiaa pienentävä tekijä, koska siihen vaikuttaa vielä siirron hyötysuhde ja lämmön tuoton hyötysuhde. Jäteveden lämmöntalteenotto siis tämän tulkinnan mukaan ”tuottaa” eri määrän kWh kuin mitä esimerkiksi kaukolämpöä säästetään.

Laskentasääntöjen näkökulmasta tulisi määritellä miten saatava lämpöenergiahyöty lasketaan ja miten huomioidaan järjestelmän mahdollisesti kuluttama sähköenergia.