

RAKENNUSTEN ENERGIANKÄYTÖN VERTAILU



16.11.2017

SWECO RAKENNETEKNIikka OY

Jyri Nieminen, Kari Nöjd

Sweco
Ilmalanportti 2

FI 00240 Helsinki,
p. +358 (0)207 393 000

www.sweco.fi

Sweco Rakennetekniikka Oy
Reg.no 2635439-2
Reg. Office Helsinki

Sweco Groupin jäsen

Jyri Nieminen
050 517 4610
jyri.nieminen@sweco.fi

Kari Nöjd
040 579 2564
kari.nojd@sweco.fi

Alkusanat

Energiankulutuksen toteutuneen ja suunnitellun energiankulutuksen analysoinnissa verrataan usein mitatun ja laskennallisen energiankäytön eroja ottamatta huomioon laskentamenetelmän soveltuvuutta kulutustarkasteluihin ja käyttövuoden ilmaston poikkeamista ns. laskentavuoden säästä. Fyysisen rakennusvaipan ominaisuuksia, talotekniikan toimintaparametrejä ja käytetyn energiajärjestelmän ominaisuuksia ei tunneta riittävästi, jotta vertailu perustuisi relevantteihin tietoihin. Lisäksi uuden rakennuksen energiankäytön määräystenmukaisuuden osoittamisen ja todellisen energiankulutuksen eroa ei aina ymmärretä.

Rakentamistapojen – lähinnä puurakentamisen ja betonirakentamisen – merkityksestä energia-
tehokkuuteen käydään jatkuvaa keskustelua. Betonirakennuksille on tyypillistä, että materiaalien kuivuminen voi lisätä tilojen lämmityksen energiantarvetta 1. käyttövuoden aikana. Toisaalta on esitetty, että etenkin hirsirakenteiden kosteusvaihteluilla on vaikutusta energiantarpeen pienentymiseen pinnoilta tapahtuvan vuorottaisen kosteuden haihtumisen (jäähdyttää) ja materiaalissa tapahtuvan kosteuden tiivistymisen (lämmittää) vaikutuksesta. Näiden ilmiöiden merkitystä koko rakenteen energiatekniseen toimivuuteen ei tunneta.

Ympäristöministeriön toimeksiannosta laaditun raportin 'Rakennusten energiankäytön vertailu' tarkoituksena on esittää teemoja myöhemmin toteutettavan kehityshankkeen sisällöksi. Työ perustui kylmän ilmaston maista kerättyyn tietoon ja asiantuntijahaastatteluihin. Haastatellut asiantuntijat olivat:

Pia Sormunen, Granlund Oy
Erja Lyytikäinen, Granlund Oy
Ari Ilomäki, Rakennustuoteteollisuus RTT ry
Kimmo Lylykangas, Arkkitehtuuritoimisto Kimmo Lylykangas Oy
Mika Vuolle, Equa Simulation Finland Oy
Miimu Airaksinen, Teknologian tutkimuskeskus VTT
Mikko Viljakainen, Puuinfo ry
Jarek Kurnitski, Tallinnan teknillinen korkeakoulu
Petri Pylsy, Kiinteistöliitto ry
Veikko Simunaniemi, Järvenpään Mestariasunnot oy

Sisällysluettelo

1	Selvitystyön tavoite	3
2	Suunnittelu ja rakentaminen	3
2.1	Asuntorakentaminen	3
2.2	Koulut ja päiväkodit	3
2.3	Energiatehokkuuden suunnittelu	4
2.3.1	Määräystenmukaisuus ja sen osoittaminen	4
2.3.2	Rakennustuotteet	5
2.3.3	Rakentamiseen liittyviä ongelmia	5
3	Rakennusten energiankulutus	6
3.1	Energiankulutuksen seuranta	6
3.2	Mitatun ja laskennallisen kulutuksen erot	6
3.2.1	Rakennusmassan merkitys	7
4	Kosteus ja materiaalien hygroskooppisuus	7
4.1	Puumateriaalit, sisäilman olosuhteet ja energiankäyttö	7
4.2	Rakenteiden kosteus	8
5	Tutkimusaiheita	8
5.1	Suunnittelu ja rakentaminen	8
5.2	Energialaskenta	9
5.3	Ilmanvaihto	10
5.4	Määräysten ja ohjeiden kehittäminen	10
5.5	Muita tutkimusaiheita	10
6	Kulutusvertailu	11
6.1	Kulutusvertailun sisältö	11
6.2	Esimerkkikohteita	12
	Lähdeviitteet	15

1 Selvitystyön tavoite

Suunnitellun ja toteutuneen energiankulutuksen analysoinnissa verrataan usein mitatun ja laskennallisen energiankäytön eroja ottamatta huomioon laskentamenetelmän soveltuvuutta kulutustarkasteluihin ja käyttövuoden ilmaston poikkeamista ns. laskentavuoden säästä. Fyysisen rakennusvaipan ominaisuuksia, talotekniikan toimintaparametrejä ja käytetyn energiajärjestelmän ominaisuuksia ei tunneta riittävästi, jotta vertailu perustuisi relevantteihin tietoihin. Lisäksi uuden rakennuksen energiankäytön määräystenmukaisuuden osoittamisen ja todellisen energiankulutuksen eroa ei aina ymmärretä.

Rakentamistapojen – lähinnä puurakentamisen ja betonirakentamisen – merkityksestä energia- tehokkuuteen käydään jatkuvaa keskustelua. Betonirakennuksille on tyypillistä, että materiaalien kuivuminen voi lisätä tilojen lämmityksen energiantarvetta ensimmäisen käyttövuoden aikana. Toisaalta on esitetty, että etenkin hirsirakenteiden kosteusvaihteluilla on vaikutusta energiantarpeen pienentymiseen pinnoilta tapahtuvan vuorottaisen kosteuden haihtumisen (jäähdyttää) ja materiaalissa tapahtuvan kosteuden tiivistymisen (lämmittää) vaikutuksesta. Näiden ilmiöiden merkitystä koko rakenteen energiatekniseen toimivuuteen ei tunneta.

Tavoitteena on laatia ehdotus tutkimuksesta, jonka perusteella voidaan arvioida rakennuksen laskennalliseen ja mitattuun energiankulutukseen (lämmitys jäähdytys, sähkö) vaikuttavia tekijöitä. Selvityksessä ehdotetaan toimenpiteitä, joilla voidaan selvittää olemassa olevien rakennusten energiankäyttöä riittävällä tarkkuudella mittauksin ja eri laskentamenetelmien avulla sekä arvioida rakenteiden toimintaan vaikuttavien rakennusfysikaalisten ilmiöiden merkitystä. Tavoitteena on myös ehdottaa vaihtoehtoisilla rakentamistavoilla toteutettuja kohteita energiankäytön ja sisäolosuhteiden vertailukelpoiseen mittaukseen.

2 Suunnittelu ja rakentaminen

2.1 Asuntorakentaminen

Asuntorakentamisessa useat ammattirakentajat eivät aina tee omissa kohteissaan hankesuunnittelmaa. Rakennusten konseptointi on johtanut siihen, että hankesuunnitteluvaihe jää suppeaksi. Asuinrakennusten konseptoinnilla suunnitteluprosessia voitaisiin lyhentää, mikä on myös rakennusteollisuuden tavoite. Samalla aikataulujen ja suunnitteluajan kiristäminen tekee energiankäytön hallinnan haasteeksi.

Pienten asuntojen suuri ilmanvaihto voi heikentää sisäilman olosuhteita ja samalla aiheuttaa viihtyvyysongelmia. Ilmanvaihtokoneiden mitoituksessa on yleisesti myös puutteita. Helsingin Asuntotuotantotoimisto käyttää perusilmanvaihdon perusteena sisäilmaluokituksen luokkaa S2.

Asuntorakentamisessa ei ole pysyviä brändejä. Asuntomarkkinoilla olemassa olevien asuntojen markkinoinnissa ei näy rakennusliikkeen nimeä. Tuotantolinjat on vakioitu, jolloin muunneltavuus on vähäistä. Muuntojoustavuutta ei synny, koska pohjaratkaisut ovat trendien mukaan kehitettyjä. Ympäristön kannalta keskeinen kysymys on, miten valtavirrasta tehdään ympäristöä säästävää. Hollannissa rakennusyrietykset investoivat ympäristötehokkuuteen perustuviin brändeihin (esimerkiksi Volker Vessels).

2.2 Koulut ja päiväkodit

Koulujen ja päiväkotien sisäilman laatu puutteet ovat merkittävä ongelma. Koulujen ilmanvaihdon sulkemisen ilta- ja yöajoiksi, viikonlopuiksi ja kesäloman ajaksi tai pitäminen minimitoilla on esitetty johtavan sisäilmaongelmiin. Kun perusilmanvaihto on pois käytöstä, erillispoistot kuitenkin toimivat ja alipaineistavat tiloja. Epäpuhtauksia voi normaalia käyttötilannetta suuremmassa alipaineessa siirtää sisäilmaan myös rakenteiden kautta.

Kouluissa ja päiväkodeissa on tehty ilmanvaihtoon liittyviä korjauksia, jotka eivät aina ole poistaneet sisäilmaongelmia. Uusien tai peruskorjattujen ilmanvaihtojärjestelmien kanavistoissa on suodatettua pölyä. Kanavisto sinänsä on tilana puhdas, mikäli suodattimien huollot ja vaihdot on tehty ohjeiden mukaisesti (pois lukien erillispoistokanavat, keittiön rasvanpoistokanavat, yms.). Mikäli huollot tehdään puutteellisesti, voi myös suodattimeen muodostua sisäilman laadun kannalta haitallisia kasvustoja.

2.3 Energiatehokkuuden suunnittelu

2.3.1 Määräystenmukaisuus ja sen osoittaminen

Energiankäyttöön liittyvissä vaatimuksissa ei oteta riittävästi kantaa tekniseen ratkaisuun ja tavoitekulutukseen ja rakennuksen käyttötapaan. Esimerkiksi koulujen suunnittelussa iltakäyttöä ei ole välttämättä otettu huomioon. Suunnittelijan saamassa tiedossa voi olla käyttäjälaitteiden määrän ja ominaisuuksien puutteita.

Taloussähkökäytön taulukkoarvoista puuttuu laitteiden riittävä määrittely. Mm. siksi taloussähkö voitaisiin jättää pois tarkasteluista. Erottelu voitaisiin tehdä mittaamalla, sillä uusi mittaustekniikka antaa siihen mahdollisuuden.

Kulutusarvion parantamiseksi olisi syytä pidentää lupavaiheen määräystenmukaisuuden todentamisaikaa 2 vuoteen. Lupavaiheen jälkeen E-luvun sijaan tai lisäksi tulisi päivittää tai tehdä tavoitekulutuslaskelma suunnitellun käytön perusteella. Rakennuksen valmistumisen jälkeen E-luvun päivittäminen ei ole riittävä toimenpide. Takuuajan ja käytön mitattua kulutusta ei pidä vertailla E-luvun laskentaperusteisiin vaan tavoitekulutuslaskelmiin, jos ne on tehty.

Elinkaarisuunnittelijan tehtäväluettelo sisältää useita toimivuuden varmistamiseen liittyviä toimenpiteitä. Tehtäväluettelon toimenpiteet ovat tarpeellisia, mutta ne eivät ole ei määräysten mukaan pakollisia. Tehtäväluettelosta voisi nostaa määräystason pakollisiksi tehtäviksi joitakin valittavia toimenpiteitä. Vaadittavien toimenpiteiden määrää voisi porrastaa rakennusluokan ja rakennuksen koon mukaan.

Nykyinen E-luku on huono mittari, koska se ei kuvaa rakennuksen käyttöä. Raja-arvot ovat ongelmallisia siksi, että ne on valittu vastaamaan rakennustyyppejä eikä rakennettavia rakennuksia. E-luku ei kannusta riittävästi valitsemaan vähäpäästöisiä energiaratkaisuja. E-luvun viestintä on hankalaa. Tavoitekulutuslaskenta kuivaisi paremmin rakennuksen toimivuutta.

Tavoitekulutuksen laskenta ei sisälly määräyksiin, vaikka sillä pystyttäisiin arvioimaan rakennuksen toimintaa realistisemmin kuin nykyisessä menettelyssä. Käyttäjäprofiilit vastaavat heikosti rakennusten käyttäjien käyttäytymistä. Suunnittelun energialaskentaan tarvittaisiin uusia ja vaihtoehtoisia profiileja. Tavoitekulutuslaskenta tulisi lisätä vähintään julkisten rakennusten suunnitteluun. Jos tavoitekulutuslaskenta tuodaan mukaan määräyksiin, pitää harkita, halutaanko tavoitekulutukselle asettaa raja-arvoja. Tavoitekulutuslaskentaan perustuvien raja-arvojen määrittäminen on kuitenkin haastava tehtävä, joka vaatisi tarkempaa selvitystä.

Käyttöveden osuus kokonaislämmitystehosta ja energiankulutuksesta kasvaa, kun tilojen lämmityksen tehontarve ja energiankulutus laskee rakennusratkaisujen energiatehokkuuden parantumisessa.

Pienissä lähinnä asuntorakennushankkeissa riittää usein määräysten hengen toteutuminen. Helsingin kaupungin omissa rakennushankkeissa käytetään E-lukutarkastelun lisäksi omaa, määräyksistä poikkeavaa matalaenergialaskentaa.

Olemassa olevan rakennuskannan kerros- ja rivitalot ovat avainasemassa rakennusten energiankäytön vähentämisessä. Energiatodistus ei nyky muodossaan palvele kiinteistöjen omistajia kovinkaan hyvin. Energiatodistusten laskennassa vaihtelua. Jo pienen otoksen perusteella tulokset vaihtelevat merkittävästi, vaikka rakennus on sama. Koulutusta tarvitaan. Samalla energiansäästötoimenpiteiden kannattavuuden arviointi on vanhoissa rakennuksissa hankalaa, sillä rakenteiden lämmönläpäisyn arviointi vanhan suunnitteludokumentaation perusteella on usein riittämätöntä. Vanhan rakennuskannan rakentamisen laatu on usein puutteellinen.

Peruskorjauksessa tuotevalmistajat ja suunnittelijat antavat usein ylimitoitettuja lupauksia esimerkiksi ikkunoiden merkityksestä energiankulutukseen. Arviointi tehdään usein rakennusosakohtaisesti. Kaukolämpötaloja muutetaan lämpöpumpputaloiksi. Muutosten kannattavuudesta on muodostunut sekava kuva. Mitatut energiankulutukset eivät vastaa kannattavuusarviota.

2.3.2 Rakennustuotteet

Puu- ja betonirakenteiden vertailu ei ole rakennusteollisuuden kannalta relevantti aihe. Nykyiset määräykset eivät kuitenkaan kohtele eri materiaaleja tasavertaisesti. Esimerkiksi massiivipuuraakenteille annetuilla helpotuksilla on kilpailua estävä vaikutus. Kaivataan tarkempia, läpinäkyviä ja elinkaareen perustuvia laskelmia erityisesti rakenteiden CO₂-päästöjen varastoitumisesta. Hygroksooppisuuden merkitystä on ylikorostettu. Energiatohokkuuden edistäminen liittyy hyvään taloudenpitoon.

Ikkunoille asetut tavoitteet ovat ehkä tuotannollisesti järkeviä, mutta ne estävät samalla innovaatiot. Suomalainen puuikkunateollisuus on jäänyt perinteisiin ratkaisuihin, ja teollisuus on standardoinut itsensä ulos Euroopan markkinoilta. Keskieurooppalaisilla kilpailijoilla on selvästi energiatehokkaampia vaihtoehtoja, joiden kustannustaso vastaa suomalaista.

2.3.3 Rakentamiseen liittyviä ongelmia

Rakentamisen ongelmat lähtevät rakentamistalouteen liittyvistä puutteista. Arvontuottomallit eivät ota kantaa sosiaalisiin tai ympäristövaikutuksiin. Kaavoitus kohdistuu rakentamisen kannalta huonoille maille. Autottomat kärsivät lisäkuluina kaavamääräyksiin sisällytetystä vaatimuksen autopaikkojen määrästä. Vaikka pienille asunnoille on syntynyt kysyntää, kaavamääräykset voivat estää niiden rakentamisen.

Suunnittelun hyvä laatu on usein toimeksiantojen saamisen este. Rakentamiselle on luonteenomaista hyvien ajatusten unohtuminen budjettivaiheen jälkeen. Budjetin vaikutukset ohittavat alun hyvät lupaukset. Rakentamisen liiketoimintamallit poikkeavat muista teollisuudenaloista. Piilottikohteet hinnoitellaan kannattaviksi, mutta muilla teollisuuden aloilla niihin investoidaan tulevan hyödyn perusteella.

Astepäivälukujen käyttö aiheuttaa epävarmuutta. Päivittäminen olisi tarpeen. Energiaperuskorjausten tuloksia arvioidaan lämmitystarveluvun kautta. Talotekniikan laskentaan käytetään yksinkertaisia menetelmiä. Uusien teknisten järjestelmien toimivuus perustuu vääriin tai puutteellisiin lähtö- ja kulutustietoihin. Oikeilla määrityksillä lopputulos vastaa tavoitetta. Päätöksenteon tueksi tarvitaan alustava arviolaskelma, jonka myös tulisi perustua relevantteihin lähtötietoihin.

Laskentatyökalujen soveltuvuus korjausrakentamiseen on puutteellista.

3 Rakennusten energiankulutus

3.1 Energiankulutuksen seuranta

Rakennusten mitatun ja laskennallisen energiankulutuksen erot voivat olla suuria. Kyse ei välttämättä ole mittaus- tai suunnitteluvirheistä, vaan kahden vertailutavan edellyttämän lähtötiedon puutteista. Kokonaisenergiankulutuksen Ruotsin käytännössä kuluttajasähkö ei ole mukana laskennallisessa kulutuksessa. Boverket [1] on antanut ohjeen toteutuneen kulutuksen kalibroinniksi vertailuun laskennallisen kulutuksen kanssa.

Laskennallisen ja mitatun kulutuksen välillä on joskus suuriakin eroja. Esimerkki rakennuksista, joissa mitattu ja laskettu tavoitekulutus vastaavat hyvin toisiaan, on Varsinais-Suomen asumisoikeus Oy:n rakennuttama 38 passiivitaloasunnon kohde. Rakentamisen tavoitteet olivat rakentamisen laatu, yksinkertaiset ratkaisut ja luonnonmukaisuus. Myös esimerkiksi arkkitehti Kimmo Lylykankaan suunnittelemissa passiivitalo Lupauksessa (pientalo) ja Oravanrinteen passiivitaloissa kulutukset ovat vuositasona samat, joskaan ilmastokorjausta ei ole tehty. Oravanrinteen passiivitalon tehontarve 10 W/m^2 vastaa saksalaista passiivitalon määritelmää.

3.2 Mitatun ja laskennallisen kulutuksen erot

Suunnittelussa ja toteutuksessa kulutukseen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi:

- Rakentamisen aikataulut - tavoitekulutuksen laskenta
- Talotekniikan asennustilojen ahtaudesta johtuvat järjestelmähäviöt
- Talotekniikkalaitteiden ominaisuudet ja talotekniikan toimivuus
- Talotekniikan aikaohjelmat poikkeavat suunnitelluista
- Käyttö ja kuormitukset poikkeavat suunnitelluista
- Väärä suunnittelutieto: Oletukset vs. käytäntö
- Rakennuksen ulkopuoliset kulutuskohteet (autopaikat tms.)

Luovutusvaiheen jälkeen suunnittelijan vaikutusmahdollisuudet ovat pienet. Pääsuunnittelijan tulee tuntea energiankulutukseen vaikuttavat tekijät, jotta suunnittelulla voi olla mahdollista saavuttaa oletettu kulutustaso käytännössä. Prosessissa tavoitekulutuksen laskenta ja sen päivittäminen ovat tärkeitä. Kulutusarvion parantamiseksi olisi syytä pidentää lupavaiheen määräystenmukaisuuden todentamisaikaa 2 vuoteen, jolloin toteutuneen kulutuksen arviointi olisi tarkempaa.

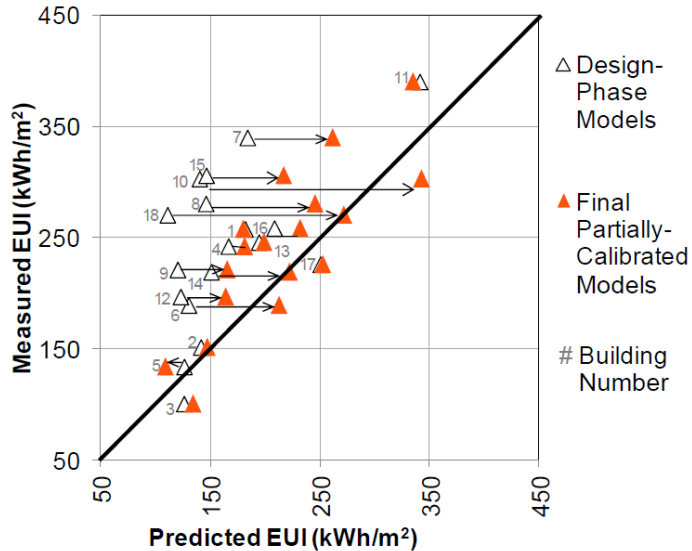
Mitatun ja lasketun kulutuksen eroihin vaikuttavat myös mitatun ja toteutuneen kulutuksen sisältö ja taserajat. Esimerkiksi autonlämmityspaikkojen, sähkösaattolämmitysten yms. energiakäyttöä ei usein sisällytetä energiataseeseen. Energiankäytön mallinnus on tarkempaa, kun taserajat on tarkasti määritetty.

IEA International Energy Agency:n selvityksissä [2] tarkemmalla suunnittelulla ja eri energiankäytön osa-alueiden huomioimisella laskennalliset ja mitatut kulutukset vastasivat toisiaan hyvällä tarkkuudella. Mitattuja ja laskettuja kulutuksia vertailtaessa tulisi aina selkeästi ilmoittaa mihin verrataan.

Nykyiset dynaamiset laskentamenetelmät ovat luotettavia, mutta ongelma on kuormien määrittämisessä. Todennetun ja lasketun energiankäytön eroja on rakentamistavasta riippumatta. Esimerkiksi Pudasjärven hirsikoulukampuksen kulutuksen poikkeavat merkittävästi lasketuista. Talojen suunnittelu pitäisi tehdä käyttöä eikä lupavaihetta varten. Tämä pitäisi tuoda myös lainsäädäntöön. Nykyinen menettely on kaukana käytännöstä.

Suomessa palvelurakennuksista energiakatselmuksiin perustuvan selvityksen [3] perusteella lämmön- ja sähkönkulutuksen rakennustyyppikohtaiset erot voivat olla huomattavia. Mitatun ja

lasketun kulutuksen erot eivät kuitenkaan ole pelkästään suomalainen ongelma. Kanadassa tehdyssä selvityksessä ero suunnittelu- ja toteutusvaiheen kulutusarvioissa oli suurimmillaan noin 130 %, kuva 1 [4].



Kuva 1. Suunnitteluvaiheen ja valmistumisen jälkeinen laskennallinen energiankulutus. Valmistusvaiheen energialaskennassa malli kalibroitiin [4].

Energiakatselmut tuottavat huomattavan määrän mitattua tietoa rakennusten energiankulutuksesta. Tätä tietoa ei hyödynnetä.

3.2.1 Rakennusmassan merkitys

Massiivisuuden merkitys on kesäajan lämpötilojen hallinnassa. Massiivisuuden merkityksestä tehdyissä selvityksissä CEN verifiointimenettelyn kirjaimellinen noudattaminen on väärä lähtökohta, sillä verifiointitavan implementointia ei ole otettu huomioon.

Rakennusvaipan massan avulla ei saavuteta merkittäviä energian säästöjä. Jos massan vaikutus otetaan oikein huomioon, sillä ei ole merkittävää vaikutusta kokonaisenergian kulutukseen. Nordic Thermal -tutkimuksessa [5] massiivisuudella saavutettiin 13 – 14 % ero, mutta vertailukohta on heikko. Laskenta lähinnä testasi standardin lähestymistapaa, mutta erojen syytä ei ole selvitetty.

Puu- ja betonirakennusten ympäristövaikutuksissa on tapauskohtaisia eroja. Elinkaarivaikutusten kannalta käyttöikämitoitus perustuu oletuksiin rakennusratkaisujen käyttäjästä.

4 Kosteus ja materiaalien hygroskooppisuus

4.1 Puumateriaalit, sisäilman olosuhteet ja energiankäyttö

Puumateriaalien vaikutus huoneilman kosteuteen näkyy tiloissa, joissa ei ole säännöllistä ilmanvaihtoa [6]. Asunnoissa puumateriaalien puskurointivaikutus oli vähäinen. Ihminen ei pysty aistinvaraisesti arvioimaan huoneilman kosteutta. Saksalaisen selvityksen [7] mukaan rakenteiden hygroskooppisuuden vaikutus näkyy tilanteissa, joissa ilmanvaihto on pieni ja hygroskooppisten pintojen ala on suuri. Hygroskooppisista pinnoista on löydetty hyötyjä kuumassa ja kosteassa ilmassa.

Kraniotis [8] on selvittänyt puupintojen vaikutusta asuntojen ja niiden kylpyhuoneiden olosuhteisiin ja kylpyhuoneen energiantarpeeseen. Testikammiossa tehdyn selvityksen tulokset osoittavat puupintojen ilman kosteutta tasaavaa vaikutusta laatoitettuun kylpyhuoneeseen verrattuna. Laatoitetun kylpyhuoneen ilman kosteuden huippuarvot ovat korkeampia, mutta muuna aikana 20 – 30 % puukylpyhuonetta alhaisempia. Kokeessa puukylpyhuoneen ilman suhteellinen kosteus suihkujen välillä vaihteli 58 ja 68 %:n välillä. Ko. olosuhteissa ulkoseinien lattian rajojen kylmäsiiltojen aiheuttamien homeriskien mahdollisuus suuri.

Puupintojen hygrooskooppisuudella havaittiin olevan vain vähäinen vaikutus huonetilojen lämmityksen energian tarpeeseen. Hyödyntämällä puupohjaisten pintamateriaalien vaikutus huoneilman kosteuden tasaajana, voidaan parantaa asuintilojen lämpöviihtyvyyttä tapauksissa, joissa perusilmanvaihto ei täytä sille asetettua vaatimusta [9].

Puutalojen sisäilman lämpötilan oletetaan olevan massiivirakenteista matalampi, koska puurakenteiden vaikutus lämpöviihtyvyyteen on vähäisempi kuin massiivirakenteiden. Luukku-nollaenergiatalossa on kokeiltu puupinnan käsittelyä siten, että kosteuden absorptio ja desorptio on normaalia puupintaa suurempaa.

Kosteudensiirron merkitystä lämmityksen ja jäähdytyksen energiakulutukseen voidaan jo simuloida esimerkiksi IDA-ICE -ohjelmalla [10]. Ohjelmaan on tehty laskentamalli tätä tarkoitusta varten. Se ei kuitenkaan ole kaupallisessa versiossa käytössä mutta saatavilla tutkimustarkoituksiin.

4.2 Rakenteiden kosteus

Rakenteiden kosteus ei ole ongelma hyvin rakennetuissa taloissa. Esimerkiksi passiivitalojen ja nollaenergiatalojen kosteudet ovat hallittuja. Paksut lämmöneristykset toimivat hyvin [11]. Edellytyksenä on huolellinen toteutus. Laadun varmistaminen helpottuu, kun rakentamisessa on jatkuvuutta: Ratkaisut tunnetaan ja ongelmat on jo selvitetty. Rakentamisen laatu ja rakennuksen ulkovaipan ilmanpitävyys ovat toimimisen edellytykset kuten kaikessa muussakin rakentamisessa. On myös esitetty arvioita, että lämmöneristämiseen ja sen vaikutuksiin liittyy myös psyykkisiä tekijöitä, jotka vaikuttavat koettuun sisäilmastoon negatiivisesti. Tätä ei kuitenkaan ole selvitetty.

Suomen ensimmäinen nollaenergiatalo, ilmastoystävällisin kerrostalo ja ensimmäinen Joutsenmerkitty kerrostalo ovat Järvenpään Mestariasunnot Oy:n betonisandwich-elementtitaloja. Kaikissa rakennuksissa on normaaliin käytäntöön verrattuna parempi lämmöneristys, ja rakennusten seurantatutkimukset osoittavat, että energiatehokkaat rakenneratkaisut toimivat hyvin Suomen ilmasto-olosuhteissa. Samoin kaikissa kohteissa on hyödynnetty aiemmista rakennushakkeista saatuja kokemuksia. Saman toteutusorganisaation käyttö helpottaa rakentamista ja aikataulujen pitävyyttä. Uudet prosessimallit, jotka korostavat yhdessä tekemistä, parantavat laatua.

5 Tutkimusaiheita

5.1 Suunnittelu ja rakentaminen

Sähkönkulutuksen pienet pohjakuormat vaikuttavat etenkin suurten rakennusten energiankäyttöön. Yöaikainen kulutus koostuu pienistä pohjakuormista kuten pumppujen ja puhaltimien ja turvalaitteiden, kameroiden, kulunvalvonnan, hissien ja muiden pienten kulutuskohteiden energiankulutuksesta. Näiden ottamiseksi huomioon energian käytön suunnittelussa ei ole vielä menettelytapaa.

Rakentamisen valvojan roolia tulisi kehittää. Nykyinen rooli ei välttämättä riitä oikeiden toimenpiteiden toteuttamiseen. Koulujen ja päiväkotien sisäilmaston ja samalla energiakulutuksen hallintaan tulisi olla vastuullisia toimijoita. Jos palkitsemisen perusteena on vain energian säästöt, voidaan talotekniikan väärinkäytöllä ja aiheuttaa sisäilmasto-ongelmia. Panos-tuotos ajattelua tulisi nostaa enemmän esille. Talotekniikan säädöt vaikuttavat myös sisäilmasto-olosuhteisiin. Energian säästön vaikutukset tulisi suhteuttaa sisäilman laatuun.

Älyn lisääminen rakennuksiin tarkoittaisi nykyistä helppokäyttöisempiä laitteita, jotka toimivat osana talotekniikkokokonaisuutta siten, että laitteet toimiva yhteen. Koska laitteet eivät monimutkaistu, olosuhteiden säätö on helppoa. Säätoratkaisuja tulisi siksi kehittää esimerkiksi ulkoilman lämpötilaan perustuvan ohjauksen osalta ennustettavaan ilman lämpötilojen muuttumiseen. Riskinä taloautomaatiossa on turvallisuus - ulkopuolisten tunkeutuminen järjestelmään. Automaatio-suunnittelijan roolia tulisi kehittää.

Sisäilmaluokitus soveltuu heikosti asuntorakentamiseen. Jos S1 ja S2 luokkia halutaan koko laajuudessaan soveltaa, vaatii se monesti taloteknisten laitteiden osalta jäähdytysjärjestelmien rakentamista. Nykyisin jäähdytysjärjestelmiä rakennetaan harvoin asuinrakennuksiin. Jäähdytysjärjestelmien rakentaminen lisää energian kulutusta.

Julkisten rakennusten suunnittelua voitaisiin kehittää palkkioperustaiseksi. Palkkio saataisiin lopputuloksen perusteella käytettyjen tuntien sijaan.

5.2 Energialaskenta

Perinteinen suunnittelutapa, jossa eri suunnittelutoimialat toimivat itsenäisesti, ei tuota tarvittavaa yhteistyötä, jolloin energialaskennan tarvitsemat tiedot ovat hajanaisia. Suurissa rakennushankkeissa käytetään malleja, joissa eri toimialat tekevät yhteistyötä. Pienempien rakennusten toteutukseen perinteisen suunnittelun osaksi tai tilalle tulisi kehittää vuorovaikutteisia suunnitteluprosesseja.

Päätöksen tueksi tarvitaan luotettavia laskentamalleja. Pientaloja lukuun ottamatta energialaskennassa tulisi käyttää dynaamisia laskentamenetelmiä. Energiatohokkuuden parantaminen on panos-tuotos -ajattelua, mikä tarkoittaa elinkaariajattelun syventämistä rakennusten energiankäytön suunnittelussa ja toteutuksessa. Elinkaarisuunnittelijan osallistuminen ainakin suurempien hankkeiden suunnitteluun olisi tarpeen.

Energiankulutuksen raportoinnissa on puutteita, mikä johtuu puutteellisista mittausjärjestelyistä ja dokumentaatiosta. Vaikka mittauksia on tehty jo runsaasti, yhteismitallinen raportointikäytäntö puuttuu. Raportointi on usein sekavaa ja kohteiden vertailu hankalaa, jolloin olemassa olevan tiedon hyödyntäminen voi olla vaikeata. Vertailua helpottaisi jo se, että tiedetään mihin ja mitä verrataan.

Energialaskennan prosessissa olisi tärkeää asettaa tavoitteet laadullisten (viihtyvyys) ja määrällisten (kWh) tekijöiden perusteella, ja tarkentaa tavoitteita suunnittelun edetessä. Määräystenmukaisuuden osoittaminen esimerkiksi 2 – 5 vuoden jälkeen tavoitekulutuslakennan päivityksellä toteutuneen kulutuksen perusteella vaikuttaisi suunnitteluvaiheen energialaskentaan positiivisesti. Energialaskenta voisi olla myös 3-vaiheinen: Lupa-, rakennus- ja käyttö/takuuvaihe.

Energialaskennan laskentamallien kehittämistä tarvitaan. Ilmaston merkitys pitää ottaa huomioon vallitsevan sään perusteella keskimääräisen sijaan. Kulutusta arvioidaan vakioidulla käytöllä, mikä voi johtaa usein suureen poikkeamaan. Myös käyttöprofiileja tulisi kehittää, sillä etenkin peruskorjaaminen tuo erilaisten variaatioiden tarpeen.

5.3 Ilmanvaihto

Painovoimaisen ilmanvaihdon asemaa rakennussuunnittelussa tulisi kehittää. Koska toimiva painovoimainen ilmanvaihto on myös suunniteltava, se voisi olla vaihtoehtona koneelliselle ilmanvaihdolle. Painovoimaisen ilmanvaihdon suunnitteluun tarvitaan kunnollinen ohjeistus.

Koulujen ja päiväkotien sisäilmaston huonon laadun selvittämiseksi tarvittaisiin tutkimus, jossa ongelmien oletettujen lähteiden poissulkemisella voitaisiin rajata todellisten vaikuttavien tekijöiden määrää siten, että perustekijät saataisiin selvitettyä. Kouluja koskevaa korjausrakentamista ja sen ohjausta pitäisi kehittää. Kun kouluun asennetaan koneellinen ilmanvaihto, energiankulutus kasvaa esimerkiksi korkeiden luokkahuoneiden johdosta, kun ilmanvaihto mitoitetaan pinta-ala- tai tilavuusperusteisesti. Uudelle talotekniikalle ei ole vanhoissa koulurakennuksissa tilaa.

5.4 Määräysten ja ohjeiden kehittäminen

Puun toimiminen CO₂ varastona elinkaaren aikana on perusteluna U-arvo vaatimuksen erolle hirsiseinillä verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin. Väitteelle ei ole tiedossa yksiselitteisiä laskelmia. Tarvitaan lisää tietoa. Tarvittaisiin ”break even” laskelma, jossa tutkittaisiin milloin heikompi U-arvo saavuttaa energiankulutuksen kannalta massiivipuurakenteen CO₂ sitoutumisen.

Hiilipäästöt voitaisiin tuoda rakentamisen määräyksiin ja ohjeisiin. Tästä on jo tehty esiselvitys [12]. Hiilijalanjälki voitaisiin kuitenkin kääntää hiilikädenjäljeksi, mikä mittaa esimerkiksi ympäristöystävällisen tuotteen merkitystä markkinoiden kautta. Kun rakennusliike rakentaa vain vähähilisiä rakennuksia, sen tuotannon kädenjälki on kilpailijoita pienempi. Tämä toimisi myös esimerkiksi asuntorakentamisen brändielementtinä. Mittarit hiilikädenjäljen arviointiin olisi kehitettävä.

Materiaalien hiilijalanjäljen osalta olisi tehtävä myös taloudellinen selvitys mahdollisista vaikutuksista.

Tavoite-energiälaskenta olisi otettava sekä uudis- että korjausrakentamisen työkaluksi. Laskenta helpottaisi valintojen kannattavuuden arviointia ja tekisi energiatehokkuuden ymmärrettävämmäksi. Nyt mielikuvat poikkeavat todellisuudesta. Laskentavaatimuksia kehittämällä lasketun ja toteutuneen kulutuksen ja vastaavien päästöjen hallinta olisi tehokkaampaa.

Energiakatselmuksista saatavaa tietoa toteutuneesta energiankulutuksesta pitäisi pystyä hyödyntämään suunnittelussa ja rakentamisessa ja etenkin korjausrakentamisessa. Kulutustietoa voitaisiin hyödyntää energialaskennan kalibroinnissa ja rakennuksen energiankulutuksen laskennallisessa vertailussa kulutuskohteiden merkityksen arvioimiseksi.

Kaupan rakennukset soveltuvat huonosti nykyiseen E-luvun laskentaan. Prosessilämpö kuten kaupan kylmälaitteiden jätelämpö tulisi ottaa mukaan päivitettyyn laskentaan. Kauppakeskusten ja jäähallien kylmän ylijäämälämpöä pitäisi voida hyödyntää uusiutuvan energian kaltaisena energiana.

Rakentamisen ohjeissa ja määräyksissä pitäisi panostaa enemmän elinkaariajatteluun.

5.5 Muita tutkimusaiheita

Passiivi- ja nollaenergiatalojen ulkovaipparakenteiden toimivuudesta on huomattava määrä perusteetonta tietoa. Riittävään määrään tutkittavia kohteita perustuva kosteustekninen tutkimus hälventäisi epäluuloja ja auttaisi löytämään toimivia käytännön ratkaisuja.

Rakentamisesta puuttuvat käyttöönoton jälkeiset ja takuuajan palvelutuotteet. Palvelutuotteiden kehittäminen edistäisi kokonaistoimivuuden hallintaa. Palvelutuotteet voisivat liittyä talotekniikkaan, kokonaissuunnitteluun, energiaratkaisuihin yms. Samalla rakentamisen toimitusmalleja voitaisiin tarkastella prosessien toiminnan kannalta.

Arvopohjaisen aluekehityksen ratkaisut puuttuvat. Alueiden profiloinnilla haetaan asukkaita, joiden näkemykset esimerkiksi ympäristötavoitteista ja niiden toteuttamisesta ovat samansuuntaisia. Alueita ei siis rakenneta kaikille, vaan suunnittelua ohjaavat esimerkiksi yksilöt ja elämäntavat. Yhtenäisempi asiakaskunta vähentäisi myös lopputulokseen tyytymättömien määrää. Tavoitteena on erilaisten asunalueiden toteuttaminen, jolloin aluekehitys olisi arvopohjaista. Tämä voisi helpottaa uusien energiaratkaisujen toteuttamista. Omistajuus voisi olla osuuskunnilla tms. toimijoilla, jotka edustavat asuntojen omistajia ja käyttäjiä. Tällä kehityksellä voi kuitenkin olla myös negatiivisia vaikutuksia kuten esimerkiksi segregaaation lisääntyminen

Markkinaväitteisiin tulisi reagoida, jotta harhaluulot hälväisivät. Tämä koskee etenkin massiivipuorakentamisen suosimista ilman riittäviä perusteita. Tällainen väite on esimerkiksi se, että sitoutunut CO₂ korvaa energiankäytön päästöt. Kokonaishiilijalanjälki voisi olla määräysten perusteena, jos vain laskentamenetelmistä saataisiin riittävä konsensus.

Tehonrajoitus voi olla sähkötehojen kasvun johdosta tarpeellista tulevaisuudessa. Sähköautojen lataamisen tehontarvetta ja vaikutuksia kiinteistötasolla pitäisi selvittää. Lataustehon aiheuttamasta tehontarpeen lisäystä on jo selvitetty [12], mutta alue- ja kaupunkitason mallit auttaisivat kaupunkien suunnittelua.

Asennettujen järjestelmien ominaisuudet eivät vastaa aina suunnittelua. Tähän tarvittaisiin menettely, jolla tietojen oikeus voidaan selvittää. Siksi myös energiakorjausten suunnitteluprosesseja tulee kehittää.

6 Kulutusvertailu

6.1 Kulutusvertailun sisältö

Kulutusvertailun tavoitteena on verrata puu- ja betonirakennusten laskennallisen ja toteutuneen energiankäytön eroja esimerkkikohteissa. Edellytyksenä kohteiden valinnalle on rakennuksen oman talotekniikka- ja automaatiojärjestelmän hyödyntäminen mittauksissa. Tavoitteena on myös kerätä pitkän aikavälin tietoa rakennuksen energiankulutuksesta ja sen vaihteluista eri vuosina.

Suunnitellun ja toteutuneen energiankulutuksen analysoinnissa verrataan mitatun ja laskennallisen energiankäytön eroja siten, että eri kohteille tehdään vertailukelpoiset energiasimuloinnit paikkakunnan toteutuneen sään avulla. Simulointi tehdään tuntitasolla, ja siinä otetaan huomioon rakennuksen toteutunut käyttö. Simuloinnissa käytetään luotettavaa ja validoitua tuntitason energialaskentaohjelmaa.

Fyysisen rakennusvaipan ominaisuudet, talotekniikan toimintaparametrit, energiajärjestelmän ominaisuudet ja rakennuksen toteutunut käyttö selvitetään vertailua varten. Lisäksi uuden rakennuksen energiankäytön määräystenmukaisuuden osoittamisen ja todellisen energiankulutuksen erot ja niiden syyt selvitetään.

Rakennusten toteutunutta käyttöä verrataan myös energialaskennan standardikäyttöön.

Rakentamistapojen – lähinnä puurakentamisen ja betonirakentamisen – merkitystä tarkastellaan niiden elinkaarivaikutusten avulla. Rakennusten rakentamisen ja käytön aiheuttamat päästövaikutukset lasketaan kustannusoptimaalisuustarkastelun [13] aikajaksolle ilman peruskorjausvaikutuksia.

Puu ja betonirakennusten eroja tarkastellaan myös arvioimalla rakentamistavan merkitystä uudisrakennusten energiankäyttöön. Hirsirakenteisten esimerkkikohteiden energiankäyttö arvioidaan laskennallisesti korvaamalla hirsiset ulkoseinät betonirakenteilla, jotka täyttävät ko. ratkaisuilta vaadittavat ominaisuudet.

Kulutusvertailun näkökulmat ja lähtötietoina selvitettävät asiat ovat:

- Rakennusvaipan suunnitteluarvot ja toteutettu vaipparakenne
- Lämpökamerakuvaus ja ilmanpitävyys
- Taloteknisten laitteiden asetusarvot ja käyntiajat
- Taserajojen ja kulutusmittausten järjestely
- Mitattu energiankulutus
- Käyttöaste ja -aikataulut
- Rakennuslupavaiheen energiaselvitys
- Laskennallinen ostoenergiankulutus: Simulointi paikkakunnan toteutuneen tuntisäätiödon perusteella

Kulutusvertailussa otetaan huomioon energian käytön elinkaarivaikutukset, kuva 2 [14]:

- Rakentamisvaiheen päästövaikutukset
- Käytön päästövaikutukset
- Käyttövaiheen jälkeiset tarkastelut



Kuva 2. Elinkaaritarkasteluiden toteutuksen vaiheet [14]

6.2 Esimerkkikohteita

Asiantuntijahaastatteluiden perusteella seurantakohteita voisivat olla seuraavassa esitellyt rakennukset. Rakennusten soveltuvuutta seurantatutkimuksen kohteiksi ei kuitenkaan ole arvioitu tässä raportissa

Energiatehokkaat TA-kerros- ja rivitalot

TA-yhtymä on toteuttanut useita kohteita, jossa energiankäytön kustannustehokas pienentäminen on ollut tavoitteena. Kiinteistöjen lämmön, kiinteistösähkön ja veden kulutusta seurataan vähintäänkin kuukausitasolla.

Kohteissa on kokeiltu esimerkiksi taloyhtiöiden omia energiantuottoratkaisuja kuten CHP-laitosta, auringon energian hyödyntämistä sekä maalämpöä ja -viilennystä. Uutena kokeiluna on massiivitiiliseinäinen asuinkerrostalo, jossa on painovoimainen ilmanvaihto.

Kuninkaantammen ja Honkasuon puu- ja betonikerrostalot

Kuninkaantammen kohde tarjoaa mahdollisuuden vertailla samalla alueella sijaitsevien puu- ja betoniasuinkerrostalojen energiankulutusta. Honkasuon puurakenteiset asuinkerrostalot ovat rankarakenteisia. Rakennusten rakennustöiden laatua on valvottu esimerkiksi kosteudenhallinnan suunnittelun ja toteutuksen avulla.

Suomen luontokeskus Haltia

Suomen luontokeskus Haltia on ensimmäinen julkinen rakennus, joka on rakennettu massiivipuuelementeistä. Rakennus on kokonaan puuta kellarikerrosta lukuun ottamatta.

Haltian energiatavoitteena on lämmityksen 75% omavaraisuus. Rakennuksen lämmitys- ja viilennysratkaisu perustuu maa- ja aurinkolämpöön ja maaviilennykseen. Tavoitteena on, että Haltia on lämmityksen suhteen 75-prosenttisesti omavarainen ja jäähdytyksen suhteen 100-prosenttisesti omavarainen.

VASO Passiivitalot

Varsinais-Suomen Asumisoikeuden Naantaliin Soinisen passiivirivi- ja paritalot ovat Suomen ensimmäinen passiivitalokriteereillä toteutettu kohde. Tavoitteena oli, että taloissa tarvitaan mahdollisimman vähän kiinteistöjen ulkopuolista energiaa. Asuntokohtaiset aurinkokeräimet tuottavat lähes puolet vuoden aikana tarvittavasta lämpimästä käyttövedestä. Talojen päärakennusmateriaalina on puu.

Kohde koostuu 38 asumisoikeusasunnosta. Rakennukset täyttävät Suomessa käytetyn, VTT:n laatiman passiivitalojen määritelmän. Rakennusten energiakäyttöä on seurattu nyt jo noin 2 vuoden ajan.

Järvenpään energiatehokkaat kerrostalot

Järvenpään Mestariasunnot Oy:n rakennuttamat Suomen ensimmäinen nollaenergiatalo, Suomen ilmastoystävällisin kerrostalo ja Suomen ensimmäinen Joutsenmerkitty kerrostalo ovat betonisandwichelementtitaloja. Rakennuksissa on normaaliin käytäntöön verrattuna parempi lämmöneristys. Kohteissa on hyödynnetty aiemmista rakennushakkeista saatuja kokemuksia. Lisäksi uusien yhdessä tekemistä korostavien prosessimallien kautta on löydetty keinoja laadun parantamiseen.

Rakennusten seurantatutkimukset osoittavat, että energiatehokkaat rakenneratkaisut toimivat hyvin Suomen ilmasto-olosuhteissa. Järvenpään nollaenergiakerrostalosta tehtiin monivuotinen kosteusseurantatutkimus, joka osoittaa rakenteiden toimivan suunnitellulla tavalla. Kosteus- ja

mikrobitutkimusten tuloksissa ei näkynyt viitteitä kohonneista kosteuspitoisuuksista tai mikrobivaurioista.

Nollaenergiakerrostalon mitattua energiatietoa on Nollaenergia.fi -sivustolla.

Pudasjärven hirsikampus

Pudasjärven hirsikampus on Pudasjärven keskustaajamassa sijaitseva yhtenäiskoulu. Koulurakennus otettiin käyttöön elokuussa 2016, ja se on kooltaan maailman suurin hirsikoulu.

Koulurakennus päätettiin rakentaa muissa koulurakennuksissa ilmenneiden sisäilmaongelmien vuoksi. Kampus koostuu neljästä rakennuksesta, joista matalat osat ovat opetustiloja. Ne yhdistyvät toisiinsa lasikäytävien ja -seinien. Toiseen kerrokseen on sijoitettu hallinnolliset tilat sekä muutama opetustila.

Pudasjärven hirsikampus on toteutettu elinkaarimallilla ja suunnitteluratkaisuissa on huomioitu ratkaisujen pitkäaikaiskestävyys. Hanke on ensimmäinen täysin tietomallinnuksen avulla toteutettu puurakentamiskohde Suomessa. Erityisesti puurakentamisen suunnittelussa ja tiedon siirrossa puuosatuotantoon on hyödynnetty mallinnuksen mahdollisuuksia laajasti.

Yli-Marian koulu

Yli-Marian koulu toteutetaan allianssiurakkana. Allianssi aloittaa 2017. Tilaajan asettamat tavoitteet ovat myös lähtökohtia kehitysvaiheessa asetettaville allianssin avaintulosalueille, joiden avulla luodaan allianssin kannustinjärjestelmä. Tavoitteena on uusiutuvaan energiaan perustuva energiatehokkuus – pieni sähkön ja veden kulutus.

Lähdeviitteet

1. Boverket. <https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/berakning-och-matning/>
2. IEA International Energy Agency. <http://www.iea-ebc.org/>
3. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/tilastotietoa_katselmuksista/palvelusektorin_ominaiskulutuksia
4. Holly W. Samuelson. Analysis of a simplified calibration procedure for 18 design-phase building energy models. Journal of Building Performance Simulation · January 2015. DOI: 10.1080/19401493.2014.988752
5. Kalema, T. et al. (2006) Nordic Thermal Mass – Effect on Energy and Indoor Climate. Tampere University of Technology. Report 184.
6. Kurnitski, J et al. Indoor climate conditions in lightweight detached houses in cold climate. IAQVEC 2007. Proceedings of the sixth International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings : sustainable built environment, oct. 28-31, 2007, Sendai International Centre, Sendai, Japan.
7. H.M. Künel, D. Zirkelbach & K. Sedlbauer. Predicting Indoor Temperature and Humidity Conditions Including Hygrothermal Interactions with the Building Envelope. Proceedings of the 1st International Conference on Sustainable Energy and Green Architecture. 2003.
8. Dimitrios Kraniotis, Tormod Aurlen, Christoph Brückner, Kristine Nore. Impact of fair infiltration rates on moisture buffering effect of wooden structures. https://www.aivc.org/sites/default/files/117_0.pdf
9. Energiaa säästävä pientalo. Suunnitteluohje matalaenergiarakentamiseen. Versio 1.0. Wood Focus 2006.
10. IDA Indoor Climate and Energy - IDA ICE - Simulation Software | EQUA. <https://www.equa.se/fi/ida-ice>
11. Järvenpään Mestariasunnot: Energiatohokkaat rakennukset toimivat Suomessa. <https://www.rakli.fi>
12. Latvakoski, J. Internet of Energy: Electric Mobility with Smart Grids. Smart City. VTT Research Highlights 12.
13. Euroopan Komission delegeoitu asetus (EU) No 244/212
14. SFS-EN 15643-4. Sustainability of construction works. Assessment of buildings. Part 4: Framework for the assessment of economic performance

Liite 1: Palvelurakennusten ominaisenergiankulutuksia

LÄMPÖ

Kohteet vuosilta 2010-2015, 1372 kohdetta

Tyyppi	Kohteita kpl	Tilavuus 1000 r-m ³	Lämpö - ominaiskulutus (kWh/r-m ³)								
			Ennen energiakatselmusta								
TK 1994			Min	5 %	10 %	Alakv	Med	Yläkv	90 %	95 %	Max
11 Myymälä- ja tavaratalot, kaupakeskukset	44	1 396	3,6	6,7	7,7	12,5	28,1	80,0	117,8	138,0	184,2
112 Liike- ja tavaratalot, kaupakeskukset	47	3 187	2,1	6,0	10,4	12,5	18,0	26,9	43,4	45,0	66,2
12 Majoitusliikarakennukset	27	825	9,3	25,2	38,3	43,1	57,0	67,0	79,6	142,2	252,0
13 Asuntolarakennukset	9	111	47,4	48,0	48,7	53,7	62,0	68,5	93,7	97,4	101,1
14 Ravintolat yms.	6	43	28,7	34,2	39,6	51,1	70,8	95,1	100,4	102,1	103,7
15 Toimistorakennukset (kaikki)	199	6 211	8,8	18,9	21,6	26,8	34,2	42,3	56,1	83,1	271,2
15 Toimistorakennukset, julkinen palvelusektori	69	805	8,8	22,8	27,7	36,4	46,3	56,2	83,9	97,8	209,9
15 Toimistorakennukset, yksityinen palvelusektori	126	4 872	9,5	18,3	20,6	25,1	29,8	37,1	42,0	48,2	271,2
16 Liikenteen rakennukset	15	251	3,4	5,8	13,5	26,2	41,1	52,5	66,1	79,9	104,6
21 Terveystieteiden rakennukset (pois lukien Terveyskeskukset ja -asemat)	29	1 729	40,8	45,0	49,0	53,9	66,1	72,9	85,0	89,3	175,1
214 ja 219 Terveyskeskukset ja -asemat	45	642	11,7	25,9	32,6	41,1	53,8	63,6	80,6	100,4	109,1
22 Huoltolaitosrakennukset (pois lukien Vanhainkodit)	21	114	36,3	38,6	41,2	48,6	64,8	77,1	98,7	115,6	121,0
221 Vanhainkodit	31	366	28,3	36,6	38,3	47,3	60,5	73,9	85,1	88,1	91,6
23 Muut sosiaalitoimen rakennukset (pois lukien Päiväkodit)	14	80	33,1	37,7	40,4	41,8	45,8	66,3	77,0	109,1	165,5
231 Päiväkodit	220	789	10,9	32,5	36,5	45,4	57,5	72,0	87,6	98,2	159,5
31 Teatteri- ja konserttirakennukset	7	226	15,8	17,4	19,0	22,0	31,1	59,6	87,9	99,6	111,3
32 Kirjasto-, museo-, ja näyttelyhallirakennukset	27	280	18,9	19,3	19,6	26,2	32,7	41,0	53,8	60,9	65,9
33 Seura- ja kerhorakennukset	22	98	26,7	33,5	35,9	40,2	53,1	64,9	75,4	75,9	84,0
34 Uskonnollisten yhteisöjen rakennukset	9	76	37,5	38,5	39,5	40,6	44,6	47,0	61,8	82,6	103,5
35 Urheilu- ja kuntoliikuntarakennukset (pois lukien Jää- ja uimahallit)	29	598	2,9	13,1	16,0	21,6	34,4	58,4	81,4	92,3	104,1
351 Jäähallit	8	559	5,0	7,8	10,6	14,8	20,9	26,8	32,3	36,3	40,3
352 Uimahallit	13	206	65,6	80,7	90,9	97,6	113,8	144,9	146,7	164,3	190,7
36 Muut kokoonntumisrakennukset	7	81	28,5	30,4	32,3	51,8	75,0	93,2	96,6	96,9	97,1
51 Yleissivistävien oppilaitosten rakennukset	258	4 429	7,5	25,0	29,2	35,1	43,5	57,3	68,9	82,3	297,6
52 Ammatillisten oppilaitosten rakennukset	36	1 228	19,3	20,3	23,0	29,5	35,8	43,2	54,0	58,7	61,5
53 Korkea- ja tutkimuslaitosrakennukset	4	104	18,3	21,4	24,5	33,7	47,5	58,4	62,5	63,9	65,2
54 Muut opetusrakennukset	11	71	27,5	34,3	41,0	44,3	48,8	53,0	57,0	101,2	145,3
71 Varastorakennukset	17	2 387	5,4	7,3	8,0	12,6	16,6	38,6	49,4	52,0	61,1
72 Palo- ja pelastustoimen rakennukset	22	192	19,8	24,8	31,7	35,9	46,4	63,2	67,8	68,4	73,4
89 Muut maatalousrakennukset	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
93 Muut rakennukset	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

SÄHKÖ

Kohteet vuosilta 2010-2015, 1372 kohdetta

Tyyppi	Kohteita kpl	Tilavuus 1000 r-m ³	Sähkö - ominaiskulutus (kWh/r-m ³)								
			Ennen energiakatselmusta								
TK 1994			Min	5 %	10 %	Alakv	Med	Yläkv	90 %	95 %	Max
11 Myymälä- ja tavaratalot, kaupakeskukset	44	1 396	5,6	9,5	13,2	15,3	22,6	123,1	169,7	182,4	227,9
112 Liike- ja tavaratalot, kaupakeskukset	47	3 187	1,6	3,6	8,2	15,6	30,2	45,1	57,6	62,7	95,0
12 Majoitusliikarakennukset	27	825	4,6	6,8	10,4	25,0	36,5	47,2	56,3	61,3	90,4
13 Asuntolarakennukset	9	111	4,3	6,9	9,5	11,9	21,3	25,1	34,4	35,5	36,6
14 Ravintolat	6	43	24,6	24,8	25,0	26,9	33,9	64,2	102,4	116,8	131,2
15 Toimistorakennukset (kaikki)	199	6 211	0,1	7,8	9,5	13,3	19,8	27,5	42,2	60,3	339,1
15 Toimistorakennukset, julkinen palvelusektori	69	1 396	5,6	9,5	13,2	15,3	22,6	123,1	169,7	182,4	227,9
15 Toimistorakennukset, yksityinen palvelusektori	126	4 872	0,1	8,1	9,4	13,4	22,1	28,5	38,1	52,9	339,1
16 Liikenteen rakennukset	15	251	3,5	4,8	6,4	11,5	26,0	48,1	190,3	328,6	473,1
21 Terveystieteiden rakennukset (pois lukien Terveyskeskukset ja -asemat)	29	1 729	15,7	17,4	18,5	22,4	33,8	43,1	55,8	60,5	66,7
214 ja 219 Terveyskeskukset ja -asemat	45	642	6,9	11,6	12,5	17,7	23,9	31,0	35,5	39,1	43,5
22 Huoltolaitosrakennukset (pois lukien Vanhainkodit)	21	114	8,5	9,6	11,1	16,4	20,8	31,7	40,0	47,0	48,7
221 Vanhainkodit	31	366	11,0	13,8	15,8	19,3	26,2	32,0	34,6	40,9	55,5
23 Muut sosiaalitoimen rakennukset (pois lukien Päiväkodit)	14	80	6,2	7,0	8,4	11,9	18,5	24,4	25,8	26,3	26,5
231 Päiväkodit	220	789	2,7	11,2	13,5	17,0	21,4	26,7	31,7	35,1	91,0
31 Teatteri- ja konserttirakennukset	7	226	6,3	8,7	11,1	14,8	15,8	16,7	17,5	17,8	18,2
32 Kirjasto-, museo-, ja näyttelyhallirakennukset	27	280	5,2	7,3	10,0	12,0	15,6	24,5	30,2	31,5	35,0
33 Seura- ja kerhorakennukset	22	98	5,1	6,1	6,7	10,5	14,6	16,9	24,5	28,0	30,2
34 Uskonnollisten yhteisöjen rakennukset	9	76	4,4	8,2	12,0	14,5	15,1	20,7	26,0	36,0	46,0
35 Urheilu- ja kuntoliikuntarakennukset (pois lukien Jää- ja uimahallit)	29	598	1,8	4,2	6,8	9,8	13,6	21,7	38,9	63,8	105,8
351 Jäähallit	8	559	4,6	7,2	9,9	22,0	28,5	35,8	40,4	41,6	42,7
352 Uimahallit	13	206	39,1	39,2	39,3	41,1	45,5	61,3	73,8	81,1	89,6
36 Muut kokoonntumisrakennukset	7	81	1,6	2,8	4,0	9,6	16,0	18,9	48,7	71,0	93,2
51 Yleissivistävien oppilaitosten rakennukset	258	4 429	4,3	8,6	10,0	11,7	14,3	17,8	23,8	30,5	79,2
52 Ammatillisten oppilaitosten rakennukset	36	1 228	11,5	11,7	12,3	14,0	16,8	21,5	30,0	32,6	170,1
53 Korkea- ja tutkimuslaitosrakennukset	4	104	12,7	16,5	20,4	31,9	42,0	51,7	62,6	66,2	69,8
54 Muut opetusrakennukset	11	71	6,1	6,7	7,2	11,0	17,8	23,8	30,2	32,1	34,1
71 Varastorakennukset	17	2 387	5,9	6,8	7,4	7,9	17,6	21,0	44,6	77,6	82,9
72 Palo- ja pelastustoimen rakennukset	22	192	4,5	5,4	6,9	11,2	18,8	21,9	24,2	32,5	34,3
89 Muut maatalousrakennukset	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
93 Muut rakennukset	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd