

Kari Dufva & Mari Koivunen (toim.)

INSINÖÖRIYDEN KYNNYKSELLÄ

Sähkö-, talo- ja biotuotetekniikan
koulutusten opinnäytetöitä
vuosijulkaisu 2022



XAMK KEHITTÄÄ 205

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU
MIKKELI 2022

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Franck-Boston/ GettyImages

Taitto- ja paino: Grano Oy

ISBN: 978-952-344-469-0 (nid.)

ISBN: 978-952-344-470-6 (PDF)

ISSN: 2489-2467 (nid.)

ISSN: 2489-3102 (verkko)

julkaisut@xamk.fi

LUKIJALLE

Insinööriyden kynnyksellä -julkaisun kolmanteen vuosikertaan on koottu Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun sähkö-, talo- ja biotuotetekniikan koulutusten insinööriopiskelijoiden opinnäytetöinä julkaistuja tutkimuksia, jotka on toteutettu yhteistyössä yritysten kanssa. Kirjoittajina ovat opinnäytetöiden tekijät sekä ohjaavat opettajat.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun insinöörikoulutus toimii yhdessä yritysten ja elinkeinoelämän kanssa koulutuksen, yritysten ja aluekehityksen hyväksi. Yhteistyöllä ja työelämälähtöisellä opinnäytetyöllä on erityisen merkittävä tehtävä tekniikan alan ylemmän ammattikorkeakoulun tutkinnossa, jossa puolet tutkinnon laajuudesta koostuu opinnäytetyöstä. Tässä julkaisussa ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetöitä on esitelty sähkövoimatekniikan sekä talotekniikan YAMK-koulutuksista.

Kestävään kehitykseen ja vihreään siirtymään liittyvän osaamisen kasvattaminen on tärkeää ja nykyisen ammattikorkeakouluopetuksen keskeinen tavoite. Näitä edistävät asiakokonaisuudet, kuten kiertotalous ja energia, ovat opinnäytetöissä usein esiintyviä aiheita, ja myös tässä julkaisussa on runsaasti energiaan liittyviä töitä. Teemaan liittyvät asiat tulevat olemaan vahvasti esillä myös tulevaisuudessa.

Tämän artikkeliteoksen toimittajat kiittävät opinnäytetöiden tekijöitä ja teokseen osallistujia, opinnäytetöiden rahoittajia sekä yhteistyökumppaneita yhteisen toiminnan mahdollistamisesta.

Tekijät

Mikkelissä 10.11.2022

KIRJOITTAJAT

VILLE ALHO, insinööri AMK, projektipäällikkö
Rejlers Finland Oy

JOHANNA AROLA, insinööri (ylempi AMK), lehtori
Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy, Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutus

KARI DUFVA, TkT, koulutusjohtaja
Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy, Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutus

SAANA GRÜN, insinööri (AMK)

MARKUS HARJU, insinööri (AMK), projektinjohtaja
Sähköneliö Oy

HANNU HONKANEN, insinööri (ylempi AMK), lehtori
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

PETTERI JÄRVELÄ, insinööri (ylempi AMK), lehtori
Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy, Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutus

MIKKO KARTTUNEN, insinööri (AMK), energia-asiantuntija
Granlund Kuopio Oy

MARI KOIVUNEN, FM, lehtori
Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy, Yhteisten opintojen koulutusyksikkö

ANTTI KOKKO, insinööri (ylempi AMK), rakennuttamispäällikkö
KSS Verkko Oy

JUHA KORPIJÄRVI, TkT, yliopettaja
Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy, Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutus

MIKA KUUSELA, insinööri (ylempi AMK), lehtori
Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy, Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutus

RITVA KÄYHKÖ, TkL, lehtori
Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy, Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutus

TEEMU MANNINEN, insinööri (ylempi AMK), lehtori
Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy, Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutus

MATILDA MONTHAN, insinööri (AMK)
Stora Enso

SAMI MUUKKONEN, insinööri AMK, projekti-insinööri
Ramboll Finland Oy

JORI PIHL, insinööri (ylempi AMK), LVI-valvoja
Kotkan kaupunki, Talorakennuttaminen

MIIKAEL RIUTTASKORPI, insinööri (AMK), sähkösuunnittelija
Granlund Lahti Oy

JANI RÄSÄNEN, insinööri (ylempi AMK), toimitusjohtaja
Insinööritoimisto Levera Oy

JOUNI TISSARI, insinööri (AMK), rakennustarkastaja
Pielaveden kunta

OSKARI VATTU, insinööri (AMK), LVI-suunnittelija
Heatco Finland Oy



SISÄLTÖ

LUKIJALLE.....	3
KIRJOITTAJAT	4
JOHDANTO.....	8
SÄHKÖMOOTTORIPYÖRÄMUUNNOS EBANDIT	11
Miikael Riuttaskorpi & Teemu Manninen	
SOODAKATTILAN CARRYOVER-MITTAUS-LAITTEISTON AUTOMATISOINTI	17
Jani Räsänen & Juha Korpijärvi	
SÄHKÖVERKON RAKENNUTTAMISEN PROSESSIT	23
Antti Kokko & Juha Korpijärvi	
SAIRAALAN VARAVOIMAJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO.....	28
Markus Harju & Hannu Honkanen	
VAAHDONESTOAINEIDEN ANNOTELUN OPTIMOINTI KUITULINJALLA.....	32
Matilda Monthan & Ritva Käyhkö	
JUVAN KUNNAN KIIINTEISTÖSTRATEGIAN PÄIVITYS.....	37
Saana Grün & Petteri Järvelä	
ILMANVAIHTOKONEEN MITOITUKSEN OPTIMOINTI TARPEENMUKAISESSA ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄSSÄ.....	43
Oskari Vattu & Johanna Arola	
TULEVAISUUDEN TESTISÄÄN VAIKUTUS ASUINKERROSTALOJEN YLILÄMPENEMISESSÄ.....	47
Mikko Karttunen & Johanna Arola	
RAKENNUKSEN VÄHÄHIILISYYDEN ARVIOINTIMENETELMÄ JA SEN TESTAAMINEN RAKENNUSHANKKEESSA.....	54
Ville Alho & Johanna Arola	
KATETUN TEKÖJÄÄRADAN HIILIJALANJÄLJEN VERTAILU	63
Sami Muukkonen & Mika Kuusela	
OMAKOTITALOJEN ENERGIAODISTUKSIEN VERTAILU	69
Jouni Tissari & Mika Kuusela	
ENERGIATEHOKAS KOULURAKENNUS SISÄILMAOLOSUHTTEET HUOMIOIDEN.....	74
Jori Pihl & Johanna Arola	

JOHDANTO

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulussa insinööritieteitä voi opiskella Kotkan, Kouvolan, Mikkelin ja Savonlinnan kampuksilla. Koulutusta annetaan informaatioteknologian, logistiikan ja merenkulun, metsätalouden ja ympäristöteknologian, rakennus- ja energiatekniikan sekä sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutusyksiköissä. Tekniikan alan uusimpana koulutuksena on aloittanut robotiikan ja tekoälyn insinöörikoulutus. Monipuolinen koulutustarjonta tuo alueiden yrityksille ja elinkeinoelämälle työntekijöitä ja lisää osaamista useilla aloilla.

Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutusyksikön toiminta jakautuu Mikkelin sekä Savonlinnan alueille. Mikkelin kampuksella sijaitsevat sähkö- ja automaatiotekniikan sekä talotekniikan (LVI) koulutukset antavat insinöörin perustutkinnon lisäksi YAMK-koulutusta sähkövoimatekniikan sekä talotekniikan koulutuksissa. Biotuotetekniikan koulutus toimii Savonlinnan kampuksella sekä prosessitekniikan tutkimustoimintaan erikoistuneen Xamkin kuitulaboratorion yhteydessä Savonlinnassa.

Energiatehokkuuteen liittyvät teemat ovat 2000-luvulla ohjanneet tekniikan kehitystä hyvin vahvasti. Tässä kehityksessä myös arvojen merkitys on kasvava. Energian tuotantoon, jakeluun ja käyttöön liittyy monia teknisiä yksityiskohtia, jotka sitovat ja rajoittavat käyttäjää. Toisaalta on paljon valinnanmahdollisuuksia, joiden avulla teknisten ratkaisujen pakottamia haittoja, esimerkiksi päästöjä, voidaan estää tai hallita. Tekniikka on monen asian mahdollistaja, jolloin siihen liittyvän tekemisen tarkoituksella on suuri merkitys. Kulutustuotteiden, asuinrakennusten, julkisten tilojen tai suurten tehtaiden energiankäytöllä on aina vaikutus ympäristömme tilaan ja kantokykyyn. Toiminnan tarkoituksenmukaisuutta miettimällä voimme siis lisätä tai vähentää ympäristömme kuormitusta. Energian rajallisuudesta johtuen luonto itse pyrkii aina optimoimaan kulutuksen, jolloin toiminnasta ja muodoista saadaan mahdollisimman energiatehokkaita, ja kestäviä. Ympäristöön liittyvät asiat ovat tulevaisuudessa entistä tärkeämpiä, ja tutkintokoulutuksen tavoitteena onkin entistä tiiviimmin vihreään siirtymään sekä kestävään kehitykseen liittyvien asioiden liittäminen osaksi insinöörin työtä.

Tekniikan opinnäytetöissä kehitetään tai optimoidaan energian käyttöä eri tavoilla. Useimmat julkaisunkin työt liittyvät pääosin energiaan; sähköistyminen liikenteessä, energian määrän tutkiminen, optimointi ja käytön suunnittelu tavoittelevat kaikki ympäristön kestävämpää kehitystä energian käyttöä pienentämällä. Insinööriopinnoissa teknisten asioiden laskemisella, suunnittelulla ja ideoinnilla on iso osuus. Tämän lisäksi tarvitaan näkemys ja ohjausta siitä, mihin tekniikkaa olisi hyvä soveltaa ja minkälaisia asioita ratkaistaan. Tämän kokoomateoksen opinnäytetyöt kuvastavat osaltaan tekniikan vaikuttavuutta yhteiskuntaan sekä ympäristömme eri osa-alueisiin.

Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutusyksikön opinnäytetöiden kokoomateos julkaistaan nyt kolmannen kerran. Aikaisempien teosten tavoin julkaisun toivotaan osaltaan edesauttavan tekniikan opinnäytetöiden luonteesta ja sisällöistä kertomista sekä tiedottavan opiskelijoiden tekemästä tiivistä yhteistyöstä yrityselämän kanssa. Artikkeleissa on linkki Theseuksessa julkaistuihin opinnäytetöihin.

Opiskelijoiden yhteisprojekti polttomoottorisen moottoripyörän muuttamisesta sähkökäyttöiseksi tarjosi opinnäytetyön aiheen kolmelle opiskelijalle. Työt kokoavassa artikkelissa *Sähkömoottoripyörämuunnos ebandit* kerrotaan projektin päävaiheet ja esitellään tärkeimmät komponentit. Laitteissa ja ohjelmiston koodauksessa on käytetty alustoja, joissa voidaan hyödyntää avointa lähdekoodia paremman avoimuuden ja laajennettavuuden saavuttamiseksi.

Soodakattilan carryover-mittaus-laitteiston automatisointi on ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon työ, jossa tavoitteena oli parantaa kannattavuutta kehittämällä soodakattilan prosessien mittausta. Aiemmin hankalasti toteutettavan carryover-mittauksen näytteenotto-tiheyttä kehittämällä työn tuloksena saatava mittadata on nyt tarkempaa ja tasalaatuisempaa kuin käsimittauksella. Tarkkuuden kasvaessa mittaus on osaltaan parantanut soodakattilan hyötysuhdetta ja näin energiatehokkuutta.

Sähköverkkojen rakentaminen on viime vuosina ollut ajankohtaista sähkömarkkinalain velvoitteiden johdosta. Laki on velvoittanut verkkoyhtiötä panostamaan sähkönjakelun toimitusvarmuuteen. Artikkel *Sähköverkon rakennuttamisen prosessit* esittelee työtä, jonka tavoitteena oli löytää apukeinoja prosessien tehostamiseen ja nykyaikaistamiseen. Monipuolisissa johtopäätöksissä todetaan mm. prosessin taustalla toimivien työntekijöiden tärkeys.

Varavoiman saatavuus ja sen luotettava käyttö sähkönjakeluverkon häiriötilanteissa on joskus erittäin tärkeää. Järjestelmän rakentamista ja käyttöönottoa on raportoitu sähkö- ja automaatiotekniikan koulutuksen insinööriydessä *Sairaalan varavoimajärjestelmän käyttöönotto*.

Biotuotetekniikan koulutukseen liittyvässä opinnäytetyössä *Vaahdonestoaineiden annostelun optimointi kuitulinjalla* on tutkittu vaahdonestoaineen määrän raja-arvoja prosessin toiminnan kannalta. Työssä on tutkittu myös vaihtoehtoisten aineiden käyttöä vaahdotuksessa. Tehdasmittakaavan koeajojen järjestäminen on aina haasteellista, mutta työssä on pystytty hyvin hyödyntämään todellisen kuitulinjan mittakaavaa.

Rakennusten käyttöön ja käytettävyyteen liittyvässä työssä *Juvan kunnan kiinteistöstrategian päivitys* todettiin, myös energiankulutuksen kannalta, erittäin merkityksellinen asia liittyen alueen rakennusten ikään. Lähes jokaisessa tarkastellussa kiinteistössä olisi tehtävä suurempia korjaustoimenpiteitä seuraavina vuosikymmeninä, jos kiinteistöt halutaan pitää käyttökuntoisina.

Opinnäytetyössä *Ilmanvaihtokoneen mitoituksen optimointi tarpeenmukaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä* on tutkittu rakennusten toteutuneita ilmapintoja rakennuksissa ja tarkasteltu tulosten pohjalta ilmanvaihtokoneen toiminta-alueiden tehokkuutta. Tarpeenmukaisten ilmanvaihtojärjestelmien toimivuudessa on huomattu olevan ongelmia ja todettu huono sisäilma sekä saavuttamattomat energiansäästöt. Työ osoitti tarpeellisuuden kehittää ohjeistusta tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluun.

Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa muutoksia asuinrakennusten toimintaan, ja tämä muutos tulisi nykyistä paremmin huomioida uusia rakennuksia suunniteltaessa. Teollisuuden toimintaa ohjaavien säännösten tulisi tukea teknisiä ratkaisuja parhaalla mahdollisella tavalla, jotta ylimääristä hukkaa tai hukkaenergiaa ei muodostuisi. Artikkelissa *Tulevaisuuden testisään vaikutus asuinkerrostalojen yllälämpenemisessä* esitellään käytössä olevien laskentamallien vastaavuutta todellisuuteen.

Talotekniikan opinnäytetöissä kiinnitetään paljon huomioita ympäristöön. Ympäristön kokemaa kuormitusta, ympäristöstä otettavat raaka-aineet ja materiaalien palauttaminen ympäristöön ohjaavat paljon rakentamisen toimintaa ja lainsäädäntöä. Merkittävä asia-yhteys ympäristön ja rakentamisen välillä muodostetaan energian ja hiilidioksidin avulla. Opinnäytetyöjulkaisuissa *Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä ja sen testaaminen rakennushankkeessa*, *Katetun tekojääradan hiilijalanjäljen vertailu* sekä *Omakotitalojen energiatodistuksien vertailu* tutkitaan molempien tekijöiden, energian ja hiilen, huomioimista rakennusten suunnittelussa ja käytössä. On tärkeää muistaa, että vähähiilinen rakentaminen huomioi rakennusvaiheen lisäksi myös rakennuksen käytön ja koko elinkaaren. Lisäksi kiertotalouden ajattelumallin mukaisesti käytetyt resurssit ja materiaalit käsitellään myös elinkaarensa lopussa hallitusti. Toiminnalliselta kannalta tarkasteltuna käytönaikaiseen kulutukseen voidaan vaikuttaa automaation avulla. Artikkelissa *Energiatohokas koulurakennus sisäilmaolosuhteet huomioiden* tutkitaan käyttötilanteiden ja tarpeenmukaisten laitteiden käyttöä energiatehokkuuden optimoimiseksi. Tutkimuksen mukaan esimerkiksi ilmanvaihtokoneiden väliaikaisella tai ajastetulla sammuttamisella voidaan saavuttaa jopa noin 50 %:n säästö kohteen energiankulutuksessa.

SÄHKÖMOOTTORIPYÖRÄ- MUUNNOS EBANDIT

Miikael Riuttaskorpi & Teemu Manninen

Asiasanat: sähkömoottoripyörämuunnos, akku, sähkömoottori, moottoriohjain

JOHDANTO

Polttomoottoristen ajoneuvojen käyttökulujen lisääntyessä suurta vauhtia nähdään sähköajoneuvot jo paljon positiivisemmin kuin vuosikymmen sitten. Teknologian nopean kehityksen avulla sähköajoneuvojen hyödyt alkavat kaatamaan sen haittapuolia.

Sähkömoottoripyörätkin alkavat näyttäytymään markkinoilla, ja yhä useammat isommat valmistajat ovat koettaneet tuoda omia sähkömoottoripyöriään esille. Näiden heikkoutena kuitenkin ovat lyhyet kantamat, hitaat latausajat ja korkeat hinnat, joita on vaikeaa parantaa ennen akkuteknologian ja moottorien energiatehokkuuden kehittymistä moottoripyörien pienen koon vuoksi.

Sähkömoottoripyörämuunnoksia ihmiset ovat rakennelleet ympäri maailmaa jo jonkin aikaa, mutta Suomessa tämä ei niin yleistä ole. Moottoripyöriä ei juurikaan ole muunneltu sähköisiksi tämän kalliin hinnan ja sen tuomien hyötyjen vähyyden takia. Samat ongelmat esiintyvät niin sähkömoottoripyörämuunnoksissa kuin rakennetuissa sähkömoottoripyörissä. Esimerkiksi sopivan ison akuston sovittaminen perinteisen moottoripyörän runkoon on erityisen haastavaa.

Tämä opinnäytetyö oli kolmen opiskelijan rakentama sähkömoottoripyörämuunnos, jonka oli tarkoitus olla näyttävä ja liikennekäyttöön soveltuva kulkupeli. Opinnäytetyö toteutettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululta saadun rahoituksen voimin, johon lehtori Teemu Manninen kilpailutti oppilaiden tekemiä ryhmiä sähkömoottoripyörämuunnoksen esisuunnittelulla. Meidän ryhmäämme kuuluivat Atte Marttinen, Kalle Hellgren ja Miikael Riuttaskorpi, ja ryhmä voitti kyseisen esisuunnittelun. Projektia tehdessä ryhmän jäsenille kehittyi omat erikoistumisalueensa, joista opinnäytetyöt kirjoitettiin.

RUNKO

Ennen työn aloitusta käytiin pitkä suunnitteluvaihe, jossa valitsimme sopivan rungon, johon muunnos on hyvä tehdä. Tärkeimpinä kriteereinä oli teräksinen kehtomallinen runko, jossa on irrotettava apurunko. Tämä mahdollistaa akkukotelon ja moottorin tukevan kiinnityksen. Lisäksi teräksistä runkoa on tarvittaessa helppo muokata. Projektiin sopivaksi moottoripyöräksi valikoitui 1996 vuosimallin Suzuki GSF Bandit (kuva 1).



Kuva 1. Suzuki GSF 600 Bandit (kuva: Miika Riittaskorpi)

MOOTTORI JA MOOTTORIOHJAIN

Eri sähkömoottorityyppäjä ja näiden ohjaustapoja tutkittiin laajalti. Oppilaitoksessa aikaisemmin tehdyssä sähköautomuunnoksessa oli käytetty Curtis 1238–7621 moottoriohjainta, jota aioimme hyödyntää omassa projektissamme. Tästä syystä päädyimme käyttämään HPEVS AC-20 oikosulkumoottoria, joka on suunniteltu toimimaan Curtisin moottoriohjaimen kanssa. Moottori operoi 72–130 V jännitevälillä, ja 96 V nimellijännitteellä se saavuttaa 49 kW huipputehonsa 5100 rpm:n kierrosluvulla ja 650 A:n maksimivirralla. Sähköajoneuvoille perinteiseen tapaan tämä moottori tukee jarrutusenergian talteenottoa, jonka voimakkuus säädetään moottoriohjaimella. Moottoriohjaimen avulla moottori on täysin ohjelmoitavissa kaasun herkkyydestä virransyötön määrään.

Moottorin halusimme kiinnittää rungossa jo oleviin moottorin kiinnityspisteisiin mahdollisimman puolin läpipulteilla, jotta se olisi mahdollisimman hyvin tuettu sekä saisimme ketjulinjan pysymään lähes alkuperäisenä. Moottorikiinnikkeet suunniteltiin Autodesk Fusion 360 -sovelluksella, ja teräksiset kiinnikkeet tilattiin laserleikattuina. Moottorin ja kiinnikkeiden väliin tehtiin tiivisteet estämään tärinää.

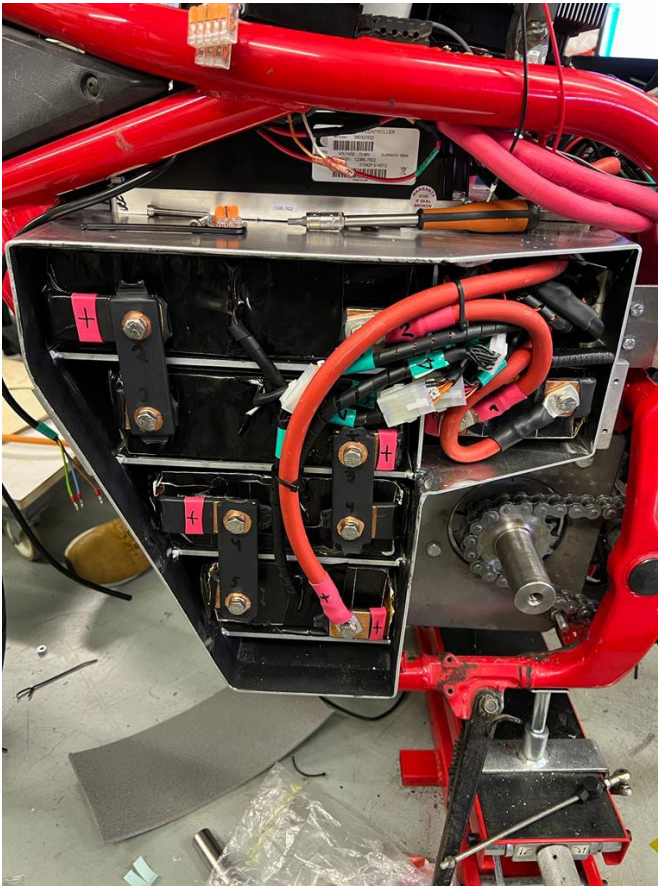
AKKU JA AKUNHALLINTAJÄRJESTELMÄ

Akusto suunniteltiin moottorin ja moottoriohjaimen määrittelemien arvojen perusteella. Sen jännite tulisi olla 72–130 V välillä ja saavuttaa hetkellisesti 650 A:n purkuvirta, jotta moottorista saadaan tarvittaessa kaikki teho irti. Tavoittelimme moottoripyörälle 150 kilometrin kantamaa ja halusimme rakentaa akuston itse valmiin akkupaketin sijaan. Akusto sijoitettiin alkuperäisen moottorin paikalle mahdollisimman alas, jotta moottoripyörän painopiste pysyisi lähellä alkuperäistä.

Akusto toteutettiin Samsung INR18650-30Q -litiumioniakuilla. Akuston nimellisjännite on 104,4 V, maksimijännite 121,8 V ja minijännite 72,5 V. Sen kapasiteetti on 84 Ah ja jatkuva purkuvirta 420 A (maksimi hetkellinen purkuvirta 840 A). Akusto koostuu viidestä eri kennosta, joissa on yhteensä 28 sarjaan- ja 29 rinnankytkettyä akkua, mikä tarkoittaa yhteensä 812 erillistä akkua.

Jokainen kennosto tehtiin akkukehikoiden avulla, joihin akut aseteltiin paikalleen ja hitsattiin toisiinsa kiinni nikkeliliuskoilla. Kennoston molemmin puolin kulkevat kupariset kiskot, jotka toimivat akuston positiivisina ja negatiivisina päänapoina. Kennostot suojattiin lisäksi polyamiditeippauksella. Päänavoista kennostot liitettiin toisiinsa kuparikiskoilla. Kennostot sovitettiin itse suunnittelemaamme akkukoteloon. Akkukotelo suunniteltiin siten, että sen kiinnitys tulee rungon alkuperäisiin kiinnityspisteisiin.

Litiumioniakuista koostuvat akustot vaativat akunhallintajärjestelmän, joka valvoo ja monitoroi akustossa tapahtuvia muutoksia. Akunhallintajärjestelmäksi hankimme Orion BMS 2:n. Tässä huomioitava etu oli integraatio Curtisin moottoriohjaimen kanssa. Akunhallintajärjestelmältä tuli jokaiselle sarjassa olevalle akulle yksi solunvalvontajohto, jolla akunhallintajärjestelmä pystyy tarkkailemaan akkuja. Lisäksi jokaisella kennostolla on oma lämpötila-anturi. Akuston koonpano ja asennustyö (kuva 2).

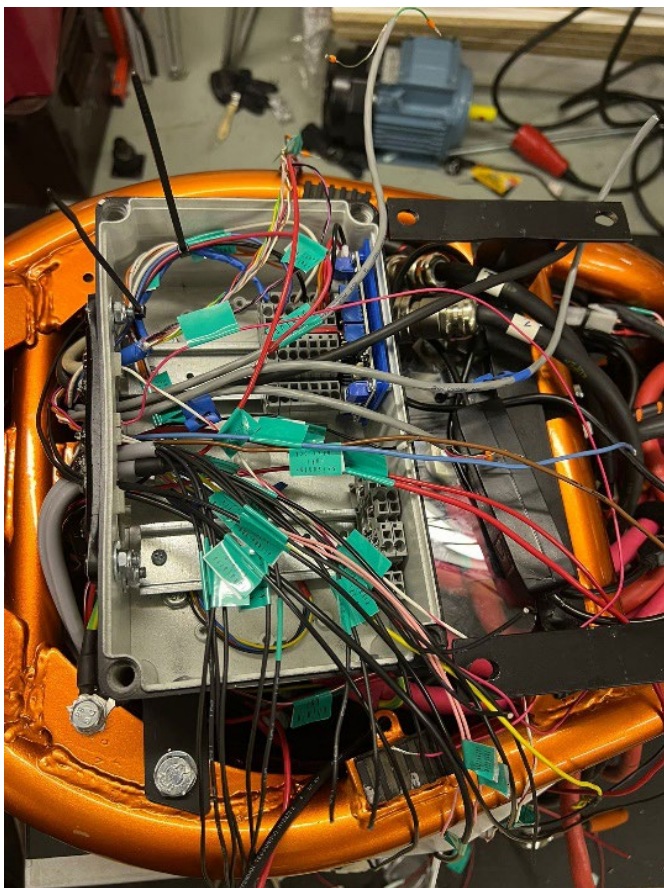


Kuva 2. Moottoripyörän akusto (kuva: Miika Riuttaskorpi)

SÄHKÖISTYS

Moottoripyörän sähköt uusittiin kokonaisuudessaan. Moottori ja moottoriohjain sijoitettiin lähelle toisiaan, jotta voimavirtakaapelit olisivat lyhyitä jännitehäviöiden minimoimiseksi. Sähkö- ja datakaapelit erotettiin toisistaan elektromagneettisten häiriöiden poistamiseksi, ja kaikki tämän vaativat kaapelit ovat häiriösuojattiin. Kuvassa 3 näkyy moottoripyörän ajonhallintalaitteiston sähkökytkentöjä.

Valojen, vilkkujen ja äänimerkin ohjauksesta vastaa Arduino-mikroprosessori. Etuvalon polttimet vaihdettiin LED-polttimoihin, joita Arduino ohjaa releillä. Äänimerkin ohjauksen teimme releen sijaan MOSFET-ohjauksella. Vilkut ja takavalot teimme ohjelmitavissa olevilla WS2812-LED-nauhoilla. Moottoripyörän tankkiin tehtiin paikka kosketusnäytölle, joka toimii mittaristona ja ajotietokoneena. Tankin korkkia muutamme siten, että sen alle saimme lisättyä ohjelmointia varten USB-naarasliittimet moottoriohjaimelle ja Arduinolle sekä RS-232-portti akunhallintajärjestelmälle.



Kuva 3. Ajonhallintalaitteiston sähkökytkentöjä (kuva: Miikael Riuttaskorpi)

KÄYTTÖLIITTYMÄ

Halusimme moottoripyörään mittariston tilalle kosketusnäytön, joka toimisi ajotietokoneena ja mittaristona samanaikaisesti. Lisäksi halusimme, että kaikki laitteet kommunikoivat toistensa kanssa sulavasti keskenään CAN-väylän välityksellä ja saamme näitä tiedot näytölle tarvittaessa.

Raspberry Pi 3 Model B+ toimi järjestelmän aivoina. Siihen ohjelmoitiin QT-kehitysympäristöllä käyttöliittymä viiden tuuman kosketusnäytölle. Näytöltä nähdään ajon aikana kaikki tarpeellinen, kuten nopeus, kulutus ja akun kapasiteetti.

POHDINTA

Työn alussa asetetut tavoitteet saavutettiin, vaikka loppua kohden aika tuntui kiristyvän kovaa vauhtia. Sähkömoottoripyörämuunnos toteutettiin pitkälti, kuten esisuunnittelu- vaiheessa olimme suunnitelleet. Projektin voidaan siis sanoa onnistuneen erinomaisesti. Moottoripyörä saatiin muunnettua täyssähköiseksi, näyttäväksi ja tieliikenteeseen sopivaksi (kuva 4). Tulevia käyttäjiä ajatellen sen ohjelmointiliitännät ovat helposti saatavilla.



Kuva 4. eBandit sähkömoottoripyörämuunnos (kuva: Miikael Riuttaskorpi)

LÄHTEET

Opinnäytetyö [Sähkömoottoripyörämuunnos - moottori, moottoriohjain ja sähköistys](#)

SOODAKATTILAN CARRYOVER-MITTAUS-LAITTEISTON AUTOMATISOINTI

Jani Räsänen & Juha Korpijärvi

Asiasanat: työturvallisuus, carryover, soodakattila, konenäkö, tuotekehitys

PAREMPAA HYÖTYSUHDETTA JA TURVALLISEMPAA ENERGIATUOTANTOA

Teknologian kehittyminen vaikuttaa koko ajan enemmän teollisuuteen, ja sen luomia mahdollisuuksia rajoittaa vain kekseliäisyys. Tässä kehityshankkeessa oli tavoitteena parantaa kannattavuutta kehittämällä soodakattilan prosessien mittausta ja aiemmillä teknologioilla hankalasti toteutettavan carryover-mittauksen näytteenottotiheyttä. Tärkeänä liikkeelle-panevana voimana on ollut myös operaattoreiden työturvallisuus.

Carryover tarkoittaa soodakattilassa kulkevan tuhkan mukana kulkevien vielä palamiskelpoisten hiukkasten päätymistä kattilan siihen osaan, josta tuhka poistuu palotilasta. Tuhkaan jäänyt palamaton aines tuottaa paitsi hävikkiä, se heikentää prosessin hyötysuhdetta ja turvallisuutta sekä laitteistolle, prosessille itselleen että ympäristölle.

Carryover-mittaus tapahtuu mittasondilla, joka työnnetään soodakattilan yläosan palokaasuvirtaan. Virtauksen mukana kulkevat osittain palaneet polttoainepisarat tarttuvat mittasondiin, minkä jälkeen partikkeleja analysoidaan visuaalisesti. Perinteisesti mittaus on tehty käsin, jolloin operaattori on käyttänyt sondia manuaalisesti. Manuaalisessa mittauksessa operaattori toisin sanoen työntää mittasondin soodakattilaan näytteenottoluukusta samalla altistuen soodakattilan kuumuudelle ja kemikaaleille. Mittauksen aikana sondin pintalämpötila voi olla jopa 750 astetta. Soodakattilan seiniin tiivistynyttä tuhkaa voi pudota mittauksen aikana ja osua sondiin aiheuttaen siihen iskun ja sitä kautta vaaraa myös operaattorille.

Päättötyöprojektissa mittaus automatisoitiin robotilla ja konenäöllä. Robotti pystyy otamaan näytteen operaattoria nopeammin. Robotti voidaan myös suojata soodakattilan arvaamattomilta olosuhteilta ihmisistä paremmin, mikä tarkoittaa merkittävää parannusta työturvallisuudessa.

SOODAKATTILA PROSESSINA

Soodakattilassa poltetaan sellunkeiton sivutuotteena syntyvää mustalipeää. Lämpöenergian lisäksi soodakattilalla kerätään talteen lipeässä olevia kemikaaleja, jotka voidaan tämän jälkeen käyttää uudelleen sellunkeittoprosessissa. Moderni sellutehdas tuottaa kaiken tarvitsemansa sähkö- ja lämpöenergian soodakattilassa poltettavalla mustalipeällä.

Menetelmä on tätä nykyä niin tehokas, että sellutehtaan yhteydessä toimiva soodakattila voi tuottaa enemmän energiaa kuin tehdas tarvitsee. Ylimäärä myydään kaukolämpönä ja sähkönä jakeluverkkoihin.

Soodakattiloilla ja mustalipeän poltolla on iso merkitys Suomen ja maailman energiantuotannossa. Soodakattiloiden osuus Suomen uusiutuvan energian tuotannosta on yli kolmannes. Mustalipeä on yksi Suomen merkittävimmistä, ellei merkittävinkin uusiutuvan energian lähde.

Soodakattilat tuottavat Suomessa vuositasolla n. 6,1 TWh lämpöä ja sähköä, mikä on vajaa kolmannes Suomen sähkön ja lämmön yhteistuotannosta. Suomessa soodakattiloita on käytössä 17 kappaletta ja koko maailmassa noin seitsemän sataa (Tilastokeskus 2021).

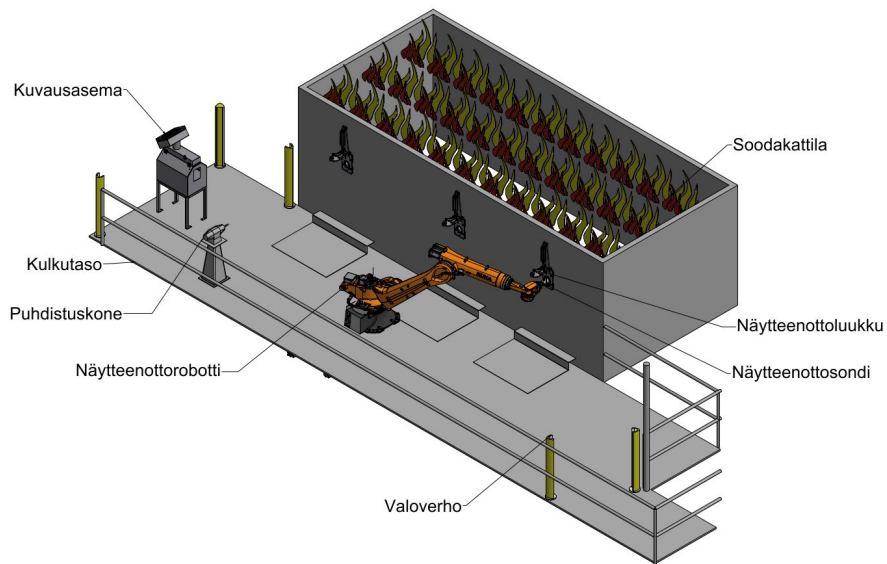
AUTOMATISOITU CARRYOVER -MITTAUS

Carryover-mittaus tapahtuu kattilan yläosassa, jossa suurin osa savukaasujen mukana kulkevista partikkeleista on loppuun palanutta polttoainetta eli tuhkaa. Mukana on kuitenkin palamatonta ainesta mustalipeän palamisen eri vaiheissa.

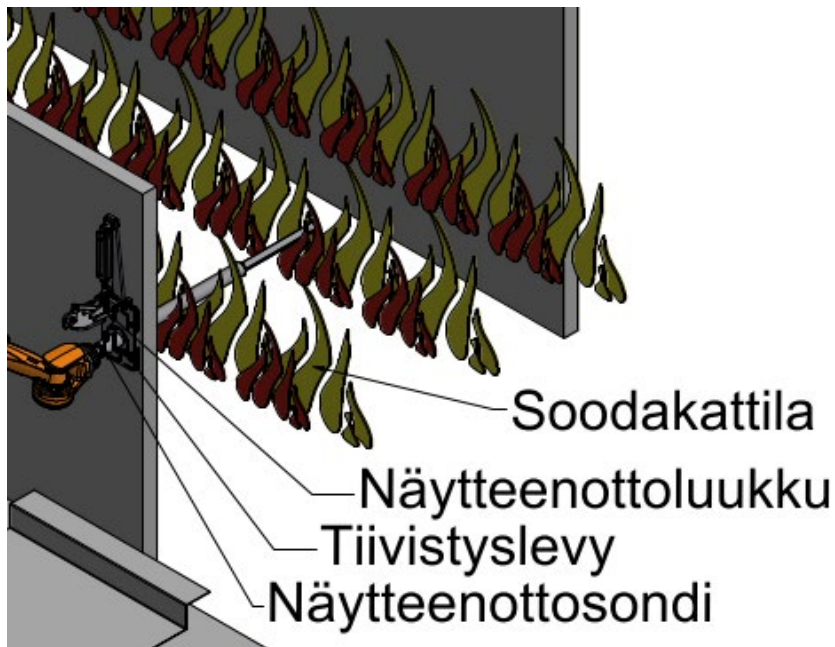
Erityyppiset palamattomat kemikaalit ovat selkeästi erivärisiä, joten mittasondiin tarttuneiden pisaroiden väristä ja niiden suhteellisista määristä voidaan päätellä palamisprosessin tilaa ja analysoida kattilan ohjauksen säätötarvetta.

Automaattinen carryover -mittaus tapahtuu robotin avulla. Robottiin on kiinnitetty mittasondi, jonka robotti työntää kattilaan samaan tapaan kuin manuaalisessa mittauksessa. Robotti voi suorittaa mittauksia lakkaamatta, muutaman minuutin välein. Manuaalinen näytteenotto ei edes usean operaattorin toimesta ole yhtä tehokasta. Lisäksi mittaustapahduma on aina samanlainen. Manuaalisessa mittauksessa sondin kattilassa viettämä aika voi vaihdella suuresti.

Kuvassa 1 on esitetty carryover-mittauslaitteistoa. Luukkujen avautumista ohjaa robotin logiikkayksikkö. Näyte kuvataan kuvausasemassa, joka on liitetty AVA-järjestelmään. Kuvauksen jälkeen sondi puhdistetaan robotisoidussa puhdistusasemassa. Näytteenottojen välissä robotti on kotiasemassa toimintavalmiina.



Kuva 1. Carryover-mittauslaitteisto (kuva: Jani Räsänen)



Kuva 2. Poikkileikkaus näytteenottotilanteesta (kuva: Jani Räsänen)

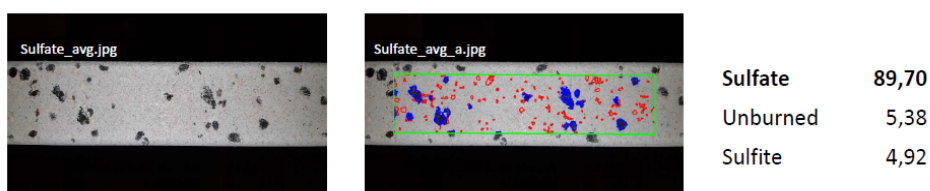
Näytteenottoluukku avautuu ja sulkeutuu paineilmalla. Luukun toimintaa ohjataan robotin logiikkayksiköllä. Luukku on valmistettu kuumalujasta teräksestä, joka kestää soodakattilan lämmön ja mekaaniset sekä kemialliset rasitukset.

Näytteenottoaluukun aukiolon ajoitus on tärkeää. Luukun aukioloaika voidaan optimoida mahdollisimman lyhyeksi, jolloin mahdolliset luukusta tapahtuvat haitalliset prosessikaasujen vuodot jäävät mahdollisimman pieniksi. Sondi on samasta syystä suunniteltu tiiviiksi näytteenottoaukkoon (kuva 2).

VISUAALINEN ANALYYSI

Kun sondi on vedetty pois kattilasta, sen pintaan iskeytyneet partikkelit analysoidaan konenäköä apuna käyttäen. Konenäkö lähettää raakadatan ja analyysistä tekemänsä graafit operaattoreille ja tallentaa ne tietokantaan.

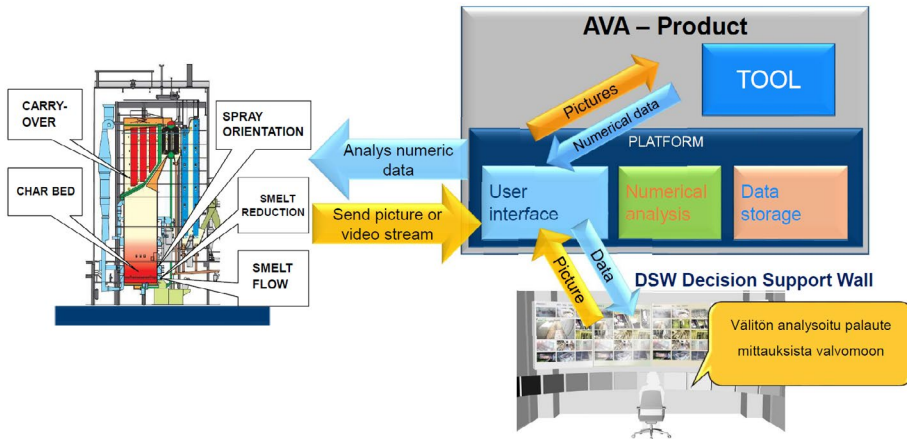
Kuvassa 3 nähdään vihreällä rajattu mittausalue, ja näkyvät laskennassa huomioitavat alueet on korostettu sinisellä ja punaisella. Ohjelmisto muuntaa näkymän graafiseksi esityksiksi ja ihmiselle ymmärrettäviksi suhdeluvuiksi.



Kuva 3. Carryover-kuva-analyysi (kuva: Andritz Oy 2021)

Mittaustulokset eivät suoraan kerro todellisia pitoisuuksia tietyissä yksiköissä, vaan tulokset ovat vertailuarvoja prosentteina. Laskenta-algoritmi ja konenäkö on säädetty vertaamalla näytteistä otettuja kuvia ja niistä saatuja tuloksia ihmissilmällä analysoituihin tuloksiin.

AVA-työkalut ovat Andritzin kehittämä älykäs laitteisto, joka koostuu usean työkalun kokonaisuudesta. Järjestelmä pitää sisällään monimutkaisia algoritmeja ja mittaus menetelmiä (kuva 3).



Kuva 4. Kaavio datan liikkeistä AVA-järjestelmässä. Tiedonkeruu on tärkeä ominaisuus, kun tutkitaan trendin kehityssuuntaa jälkikäteen. (mukaillen Andritz Oy 2021.)

MENETELMÄT JA TYÖPROSESSI

Projektin aluksi tutustuttiin aiemmin käytössä olleeseen mittaustapaan, jossa laitoksen operaattori otti näytteen käsikäyttöisellä mittasauvalla. Tämän jälkeen haarukoitiin erilaisia ratkaisuja mittauksen automatisoimiseksi.

Kun automatisoinnin tekninen toteutus oli lyöty lukkoon, rakennettiin laitteisto kattila-huoneeseen ja toteutettiin näytteenottoluukun avaus- ja sulkumekanismit sekä suunniteltiin ja toteutettiin kuvausasema ja mittasondin puhdistusasema. Lopuksi ohjelmoitiin mittalaiterobotin radat ja kalibroitiin kuvausaseman kuvaa analysoiva konenäkö.

Kun laitteisto oli valmis ja koeajot ajettu, automaattisella laitteistolla saatuja mittaustuloksia verrattiin käsin tehtyihin mittauksiin. Lisäksi haastateltiin operaattoreita soodakattilalaitoksella. Näin muodostettiin käsitys siitä, millä tavalla operaattorit hyödyntävät tuloksia soodakattilan säädöissä. Lisäksi mietittiin, miten automaattinen mittaus voitaisiin ottaa mukaan soodakattilan automaattiseen ohjaukseen.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Automatisoidun mittauksen ansiosta operaattoreiden aika ei kulu näytteenotossa. Jos samaan näytteenottotiheyteen halutaan päästä operaattoreiden toimesta manuaalisella mittauksella, kuluisi yhden operaattorin työaika lähes kokonaan pelkästään carryover-näytteiden ottamiseen.

Automaattinen carryover -mittauslaitteisto on toiminut teknisesti hyvin. Automatisoidulla mittauksella mittaustuloksia saadaan tasaisin väliajoin. Mittadata on myös tarkempaa ja tasalaatuisempaa kuin käsimittauksella.

Tarkempien mittausten myötä pystytään valvomaan paremmin, että palamatonta polttoainetta ei pääse karkaamaan prosessista ja tarttumaan esimerkiksi lämmön talteenottopinnoille ja sähkösuotimiin. Jos prosessi ei ole hallinnassa, kattilasta eteenpäin pääsee myös syövyttäviä kemikaaleja, jotka aiheuttavat korroosiota lämmönvaihtimissa, suodattimissa ja muilla pinnoilla.

Automatisoitu carryover -mittaus on osaltaan parantanut soodakattilan hyötysuhdetta paremman prosessin hallinnan ja lämmön talteenottopintojen hitaamman likaantumisen johdosta. Soodakattilan pesuvälejä on myös voitu pidentää, mikä parantaa prosessin konaishyötysuhdetta entisestään.

LÄHTEET

Opinnäytetyö [Soodakattilan carryover-mittauslaitteiston automatisointi](#)

Andritz Oy. AVA- Advanced Visual Analysis. Sisäinen esittelymateriaali 22.9.2022.

Andritz Oy. 2021 OKI - All set to take on the world. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.andritz.com/spectrum-en/latest-issues/issue-37/oki> [viitattu 19.12.2021].

Tilastokeskus. 2021. Sähkön ja lämmön tuotanto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stat.fi/til/salatuo/index.html> [viitattu 22.9.2022].

SÄHKÖVERKON RAKENNUTTAMISEN PROSESSIT

Antti Kokko & Juha Korpijärvi

Asiasanat: rakennuttaminen, teemahaastattelu, laadunvalvonta, sähköverkko

JOHDANTO

Sähköverkkojen rakentaminen on ollut kiivasta vuosien ajan, ja sähkömarkkinalaki on velvoittanut verkkoyhtiöitä panostamaan sähköjakelun toimitusvarmuuteen. Kiihtynyt investointitahti ja toteutettavien investointien koon kasvaminen ovat tuoneet uusia haasteita sähköverkon suunnittelu- ja rakennuttamistoiminnoissa. Toimintojen sähköistymisen myötä on havaittu jokapäiväisissä prosesseissa kehitys- ja muutostarpeita, jotta työskentely olisi tehokkaampaa ja nykyaikaisempaa. Tämänpäiväiset ohjelmistot ja järjestelmät mahdollistavat tehokkaampaa työskentelyä.

Prosessien kehitystarpeeseen on vaikuttanut merkittävästi myös tilaajan ja päätoteuttajan roolien muuttaminen. Suhde muuttuu koko ajan kompleksisemmaksi, kun osa saneeraus-hankkeiden työvaiheista kuuluu nykyprojekteissa päätoteuttajalle ja aikaisemmin ne ovat taas kuuluneet tilaajan hoidettaviksi. Tulevina vuosina toteutettavissa investoineissa kokonaisvastuurakentaminen (KVR) tulee olemaan merkittävä osa tehtäviä investointeja. Näin myös prosessien kehitystarvetta tarkasteltiin niin, että toimintamallit toimisivat myös tämän tyyppisissä hankinnoissa. Kasvava kumppaniverkosto pakottaa verkkoyhtiön muuttamaan toimintatapojaan ja päivittämään prosessejaan vastaamaan nykypäiväistä toimintaa.

TAVOITTEET

Kehittämistehtävän tavoitteena oli löytää apukeinoja prosessien tehostamiseen ja näkyaikais-tamiseen. Tavoitteiksi asetettiin hukkatyön minimointi ja prosessien suoraviivaistaminen. Tavoitteiden osalta suunnittelussa selvitettiin, kuinka suunnittelun laatu pystytään saamaan tasalaatuiseksi, jotta tekijäkohteiset eroavaisuudet eivät ilmene suunnitelma-aineistosta. Suunnittelun laatuun ja kustannustehokkuuteen liittyen ohjeistuksien puutteita kartoitettiin.

Rakennuttamisprosessin tarkastelussa keskityttiin rakennuttajan tehtäviin ja työmaavalvon-taan. Prosessia tutkittiin myös yhteistyökumppaneiden toimintaa osana rakennuttamispro-

sessia. Tavoitteena oli löytää keinot rakennuttaa tilaajanohjeiden vaatima sähköverkko, ilman laadun kärsimistä. Ohjeistuksien päivittämisen osalta täytyi ymmärtää myös päätoteuttajan näkökulma, jotta ohjeistukset palvelevat projektien kaikkia osapuolia.

Dokumentoinnin tavoitteeksi asetettiin hankkeen loppuun saattamisen osalta ohjeistuksen kehittäminen niin, että dokumentoinnin pystyy tulevaisuudessa toteuttamaan myös päätoteuttaja. Samalla tuli selvittää, mitä haasteita dokumentoinnin eri vaiheissa on ja miten dokumentointityötä voitaisiin kehittää.

Yleinen tavoite jokaisen rakennuttamisprosessin kehittämisen osalta oli hiljaisen tiedon tuonti julki. Hiljaista tietoa kertyy organisaatioihin niiden historian aikana, jotka voivat olla käytännön periaatteita tai muunlaista historiatietoa. Asiantuntijaorganisaatioissa hiljaisen tiedon olemassaolo on yleistä.

MENETELMÄT

Asiantuntijaorganisaatioon keskittyvää kehittämisprosessia toteutettiin teemahaastattelun pohjalta. Toimintamallien kehittämistä tutkittiin haastattelukierroksen avulla, jossa haastateltiin eri rooleissa toimivia henkilöitä, niin rakennuttajia ja yhteistyökumppaneita kuin päätoteuttajia. Tärkeää oli, että haastateltavat työskentelivät osana tutkittavaa prosessia. Haastatteluissa haastateltavat pystyivät tuomaan omat ajatukset helposti esille rennossa ilmapiirissä.

Haastattelukysymykset olivat kaikille haastateltaville samat, jolloin lopputulosten analysointi oli mahdollista. Kysymykset aseteltiin niin, että haastatteluiden vastauksista saatiin lisätietoa haastattelun aihepiiristä. Haastatteluiden aihepiirit aseteltiin suunnittelu- ja rakennuttamisprosessien sekä loppudokumentoinnin ympärille. Osa-alueista haettiin näkemyksiä, mitkä asiat vaativat kehitystä ja mihin työvaiheisiin haastateltavat kokevat työaikaa kuluvan eniten. Haasteellisimpana kysymyksenä haastateltavat kokivat kysymykset hukkatyöhön liittyen. Useat haastateltavat vastasivat, ettei hukkatyötä ole. Tässä nousi esille haaste omantunnon arvioinnista ja työaikaa liian paljon kuluttavien työvaiheiden tunnistamisessa. (Hirsjärvi & Hurme 2015.)

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tehdyn tutkimuksen myötä saatiin hyvä läpileikkaus rakennuttamisprosessin eri vaiheiden tilasta ja kehitystarpeista. Keskeisenä tarpeena nousi esille tarve suunnitelmamateriaalien yhtenäistämiseksi. Yleisesti nähtiin ongelmana tekijäkohtaiset vaihtelut suunnitelmien sisällöissä. Rakennuttamisvaiheen kohdalla tärkeäksi kehityskohdaksi nousi aloitus- ja työmaakokoukset. Näiden osalta konkreettisin kehitysaskel nähtiin kokoukseen osallistujissa. Keskeistä olisi, että kokouksessa ovat oikeat osallistujat läsnä, jotta läpikäytävät asiat saadaan ratkottua ja päätettyä.

Koko rakennuttamisprosessin tueksi nähtiin tarpeelliseksi tehdä muistilista, jonka avulla suunnittelija ja rakennuttaja voi varmistua, että tarvittavat asiat on huomioitu suunnittelussa ja myöhemmin hankkeen toteutuksen aikana. Listaa pystytään hyödyntämään niin omissa suunnittelutyössä kuin myös KVR-hankkeissa. Muistilistan hyöty suunnitteluprosessissa korostuu, kun hahmotetaan ajatus siitä, että suunnitteluvaiheen ratkaisuihin sidotaan iso osa projektien kustannuksista. Suunnittelussa tehtävillä päätöksillä sidotaan noin 60–80 prosenttia kustannuksista. Tulevaisuudessa muistilista tullaan integroimaan osaksi tehtävienhallintaa, jotta listan käyttö saadaan vielä enemmän osaksi päivittäistä työskentelyä. (Pelin 2011, 163.)

Tutkimuksen yksi merkittävistä havainnoista oli se, kuinka paljon lupaprosessiin kuluu aikaa. Lupaprosessi myös työllisti monia henkiköitä. Keskeisenä kehitystarpeena oli lupaprosessin sähköistäminen osaksi verkkotietojärjestelmää. Prosessin integraation myötä pystytään vapauttamaan merkittävä määrä työaikaa muihin tehtäviin. Tärkeänä hyötynä myös lupien läpimenoaika lyhenee sähköisen allekirjoituksen ja sähköisten rajapintojen takia.

Suunnittelun ohjeistuksien päivityksen ja ylläpidon yhteydessä on huomattu, että ohjeistuksien täydellisyys luo tietynlaisia haasteita suunnitteluun. Suunnittelutyössä vaaditaan aina tietynlaista tapauskohtaista ajattelua ja ongelmanratkaisuakykyä. Jos suunnittelussa seurataan pilkulleen ohjeistuksia, niin suunnitteluratkaisuiden lopputulos ei välttämättä ole kustannustehokas eikä palvele täysin kyseistä käyttötarkoitusta.

Ohjeistuksien tärkeys projektien osalta on korostunut entisestään, kun materiaalien ja polttoaineiden hinnat ovat nousseet. Entistä tiukempi tilanne voi aiheuttaa merkittäviä tarpeita optimoida suunnittelu- tai rakentamisvaiheessa, jotta tilaaja ja päätoteuttaja voivat maksimoida saadun hyödyn.

Yhteisrakentamisen onnistuminen nousi tärkeäksi kehityskohdaksi prosessien tarkastelun yhteydessä. Aktiivinen vuoropuhelu yhteistyökumppaneiden kanssa mahdollistaa avoimen kehitysalustan yhteisrakentamiselle. Tutkimuksen jälkeen on kehitetty ja kasvatettu keskustelua sekä hankkeiden läpikäyntiä eri yhteistyökumppaneiden kanssa. Yhteisrakentamiseen haetaan myös hyötyä yhteisistä kumppaniverkostoista. Useasti pyritään löytämään yhteistyökumppani, joka pystyy toteuttamaan suunnittelutyöt usealle tilaajalle samanaikaisesti. Näin saadaan yhteensovittua hanke jo heti alkumetreillä ja kustannussäästöä syntyy myös samanaikaisen suunnittelun osalta. Yhteisrakentamisen tärkeys tulee korostumaan entisestään kuumentuneen kuiturakentamisen takia. Tavoitteena on maksimoida hyöty yhteisöistä ja pystyä minimoimaan asiakkaille koitua haitta rakentamisesta. (Mäntyneva 2016, 126–127.)

Hyvän asiakasviestinnän tärkeys korostui tutkimuksessa, ja hyvin toteutetun viestinnän on myös huomattu auttavan hankkeen etenemisessä. Hankeviestinnän tärkeys hankkeiden

elinkaaren ajan on suuri. Viestinnän merkitystä nostettiin korkealle prioriteetille konsernin uudella strategiakaudella. Näin myös hankeviestinnässä on otettu isoja askeleita eteenpäin tutkimuksen jälkeen. Hankeviestinnässä etsittiin rajaa informaation määrässä, minkä asiakkaat kokevat riittäväksi ja mielekkääksi. Yleisesti huomattiin, että hyvinkin tarkalle informaatiolle ei ole suurta yleisöä. Hankeviestintää lähdettiin kehittämään yleisemmälle tasolle, ja huolehditaan, että tieto on helposti saatavilla ja asiakkailta on saatavilla hyvät yhteydenottokanavat. Suurimmista hankkeista toteutetaan erillinen tarinakartta, jossa kerrotaan aktiivisesti hankkeiden taustasta ja siitä, miten hanke etenee.

Hankkeiden rakentamisaikaisen laadunvalvonnan kehittämiseksi työkaluksi otettiin HeadPowerin Infra Work Documents sovellus. Sovelluksen avulla tehdään työmaatarakastuksien pöytäkirjat ja dokumentoidaan mahdolliset puutteet ja virheet. Pää toteuttaja käyttää myös sovellusta viikoittaisten työmaatarkastusten ja käyttöön otetun sähköverkon käyttöönottotarkastusten tekemiseen. Sähköisen järjestelmän avulla on saatu koostettua työmaakohtaiset pöytäkirjat kaikkien saataville reaaliaikaisesti. Sähköisen järjestelmän käyttö on tuotu osaksi myös verkkotiedon dokumentointia. Dokumentointia pystytään toteuttamaan samanaikaisesti rakentamisen kanssa, kun tieto käyttöönotetusta sähköverkosta on saatavilla sovelluksesta.

Hankkeiden läpimenon onnistumisen seuranta on tärkeää, jotta pystytään ymmärtämään hankkeiden toteutumiseen vaikuttavat tekijät. Suorituskyky mittareita kehitettiin prosessien tueksi. Mittareiden viennissä osaksi jokapäiväistä työskentelyä on tärkeää, että tiedot mittareihin pystytään keräämään automaattisesti eri rajapinnoista. Mittareiden reaaliaikainen seuranta ei ole mahdollista, jos tietojen kerääminen on rakennuttajan vastuulla manuaalisesti.

Kokonaisuutena rakennuttamisprosessissa tapahtuu paljon kehitystä ja muutosta. Muutuvassa ympäristössä työskentely vaatii halukkuutta kehittää ja muovata rutinoituneita toimintamalleja. Toiminnassa vahvassa rajapinnassa ovat kumppaniverkostot. Mitä suoraviivaisemmaksi ja selkeämmäksi toimintamallit saadaan, on sitä helpompaa kumppanuuk-sien käynnistäminen. Toimivien prosessien taustalla ovat kuitenkin yhteistyötä tekevät työntekijät.

LÄHTEET

Opinnäytetyö sähköverkon rakennuttamisen prosessit

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. 2015. Tutkimushaastattelu. Helsinki: Gaudeamus.

Mäntyneva, M. 2016. Hallittu projekti, Jäntevästä suunnittelusta menestykselliseen toteutukseen. Viro: Printon.

Pelin, R. 2011. Projektihallinnan käsikirja. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy

SAIRAALAN VARAVOIMA- JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO

Markus Harju & Hannu Honkanen

Asiasanat: varavoima, varmennettu sähkönjakelu, käyttöönotto, sairaala

Jos joutuisit pahimmassa tapauksessa vakavan sairauden tai tapaturman takia terveydenhoitolaitokseen, et ehkä tiedosta, että elintoimintojasi turvataan ympäri vuorokauden kehittyneillä järjestelmillä, joka hyvinvointivaltion nyky-yhteiskunnassa kuuluukin olla itsestään selvyyttä. Olkoon siis kyseessä ihmishenki, tuotanto tai talous, varavoimajärjestelmä turvaa nämä palvelujen keskeytyksettömän tarjonnan yhteiskunnan kriittisessä infrastruktuurissa.

Kriittinen infrastruktuuri voidaan jakaa useaan eri sektoriin, jotka ovat riippuvaisia toisistaan. Kuvassa 1 sektorit on jaettu kolmeen eri tasoon, jossa ylempien tasojen sektorit ovat riippuvaisia alemmista sektoreista. Kuvassa huomataan, että tietoliikenne- ja tietotekniikkapalvelut, energiahuolto ja vesihuolto ovat yhteiskunnan toiminnan kivijalka, josta huomataan talotekniikan riippuvuus terveydenhuoltoon. (Horsmanheimo ym. 2017, 8–9.)



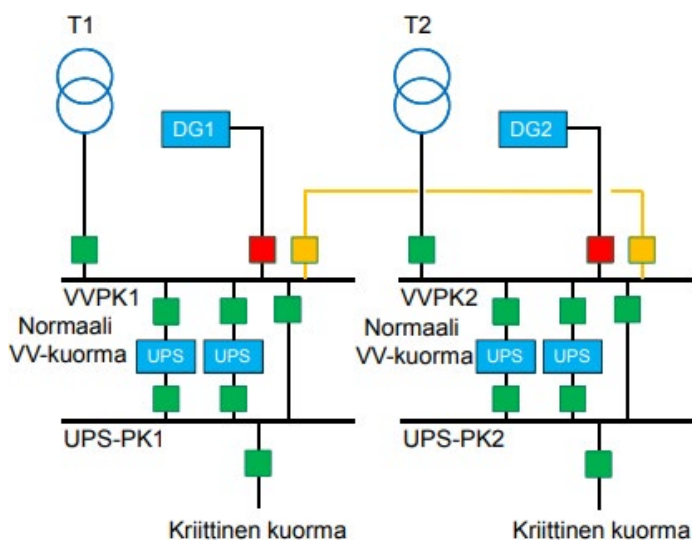
Kuva 1. Kriittisten infrastruktuurien sektorit tasoittain (kuva: Horsmanheimo ym. 2017)

Varavoimajärjestelmä on kokonaisuus, johon kuuluu generaattorilaitteistoa pyörittävä voimakone, joiden välissä on voimansiirto, jotta generaattori saa tarvitsemansa mekaanisen tehon sähkön tuotannolle. Lisäksi koneikkoon ja järjestelmään kuuluu erinäisiä ohjaus-, toiminto- ja suojauslaitteistoja, jotta järjestelmän käyttö on mahdollisimman varmaa sekä ollaan ajan tasalla ja pystytään reagoimaan järjestelmään tulleista normaalista toiminnasta poikkeavista asioista. (ST-käsikirja 31: 2019, 50–110.) Varavoimajärjestelmän rakenteeseen kuuluu kiinnittää huomiota jo suunnitteluvaiheessa, jolloin saadaan optimaalinen järjestelmä sille tarkoitettulle käyttökohteelle. Siihen kuuluu liittää kaikki mahdolliset järjestelmät, jotka takaavat potilaiden ja henkilökunnan turvallisuuden ja keskeytyksettömän toiminnan ympäri vuorokauden. Varavoimajärjestelmä on siis kokonaisuus, joka kuuluu olla mahdollisimman riippumaton muista järjestelmistä. (ST-käsikirja 31: 2019, 14–15.)

TAUSTA JA AIHE

Kyseessä oli projektiluontoinen sairaalakohteen sähköurakointi, jossa tavoitteena oli laatia projektinhoitajan näkökulmasta säädösten mukainen sairaalan varavoimajärjestelmä rakennusvaiheiden puitteissa täyten käyttökuntoonsa. Toteutuksessa oli mukana pienimuotoinen organisaatio, johon kuului sähköurakoitsijan lisäksi muut urakoitsijat ja tilaajan edustajat.

Kuvassa 2 on esitetty sairaalan varmennetun sähkönjakelun periaatekaavio, josta nähdään muuntajien (T1 ja T2) sekä dieselgeneraattorien (DG1 ja DG2) omat verkot. Muuntajat ja generaattorit syöttävät varavoimapääkeskusta (VVPK) sekä UPS-pääkeskusta (UPS-PK). Jotta sähkönjakelusta saadaan lähes täysin katkeamatonta, tarvitaan UPS-järjestelmä, jonka akustot varmistavat korkeintaan 0,5 s keskeytysajan. Verkkojen välillä on huolto- ja varasyöttöyhteys tarvittavien toimenpiteitä varten. Huomioitavaa on, että myös suoraan varavoimakuormalla syötetään kriittisiä laitteita, joille riittää maksimissaan 15 s keskeytysajan omaavaa varavoimaa (SFS 6000-7-710:2017, 105.)



Kuva 2. Varmennetun sähkönjakelun periaatekaavio (kuva: Poikonen 2017)

PROJEKTIN PROSESSI

Sähköurakan projekti oli monivaiheinen, johon kuului urakoitsijan näkökulmasta käyttöönoton valmistelut, käyttöönotto, luovutus sekä kunnossapito (kuva 3). Käyttöönoton valmisteluihin eli urakan toteutusvaiheeseen kuului järjestelmän toimitukset ja niiden yhteensovittaminen sekä kaapeloinnit ja kytkennät urakoitsijalle toimitettujen suunnitelmien mukaisesti. Käyttöönottoon kuului järjestelmän toiminnan varmistaminen eli oman työn tarkastukset, käyttöönottotarkastukset järjestelmälle, valtuutetun tarkastajan tekemä varmennustarkastus sekä toimintakokeet järjestelmän lopullisella käyttötarkoituksella. Koska varavoimakoneikko toimitettiin erilliseltä laitetoimittajalta, sille tehtiin myös tarvittavat kuormituskokeet toimittajan tiloissa ennen työmaalle saapumista. Luovutuksessa todettiin järjestelmän työtulos sopimusasiakirjojen mukaiseksi ja toimintakuntoiseksi. Sen yhteydessä järjestelmästä luovutettiin tilaajalle huoltomateriaalit ja kaikki asiakirjat, jotka liittyivät järjestelmän toteutukseen. (YSE 1998, 273.) Käyttäjälle kuului antaa järjestelmästä käytönopastukset, jossa selostettiin järjestelmän osaset, toimintakokeet ja muu kunnossapitoa vaativat toimenpiteet. Kun kohde on vastaanottotarkastuksessa vastaanotettu tilaajalle, urakoitsijalla alkaa 2 vuoden kestävä takuu aika. Takuuajana urakoitsija vastaa virheistä tai puutteista, jotka ovat ilmenneet urakoitsijan toimesta. (YSE 1998, 137–142.) Kaikkiin näihin osioihin kuului aikatauluttaminen projekti aikataulun puitteissa.



Kuva 3. Projektin elinkaari

TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksena saatiin toimeksiantajalle ja tilaajalle toimintakuntoinen ja standardien mukainen varavoimajärjestelmä ja sen saattaminen lopulliseen käyttötarkoitukseen. Asiakas oli tyytyväinen koko sähkö- ja kokonaisurakkaan. Tässä korostuu koko projektiorganisaation voima, ja varmasti töitä tulee olemaan myös jatkossa vastaavanlaisista projekteista näille toimijoille.

Projekti osoittautui melko laajaksi ja aikaa vieväksi, ja siinä tarvittiin sähköalan tietämystä ja käytännön kokemusta vastaavanlaisista projekteista. Järjestelmään täytyy perehtyä jo ennen käyttöönottoa, ja sähköurakoitsijan asentajien ja muiden urakoitsijoiden kanssa käyminen on tärkeää, jotta saavutetaan järjestelmälle asetetut vaatimukset. Projekti oli ajankohtainen lisääntyneiden ilmastomuutosten, tekniikan ja muiden uhkien varalta. Tärkeimpänä kuitenkin saatiin turvattua potilaiden ja henkilökunnan turvallisuus laitoksen ympärivuorokautisessa käytössä.

LÄHTEET

Horsmanheimo, S., Kokkonen-Tarkkanen, H., Kuusela, P., Tuomimäki, L., Puuska, S. & Vankka, J. 2017. Kriittisen infrastruktuurin tilannetietoisuus. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 19/2017. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/19_2017_Kriittisen+infra-struktuurin+tilannetietoisuus.pdf/1f3fa110-d4aa-4298-9685-1b9027b07fe6/19_2017_Kriittisen+infrastruktuurin+tilannetietoisuus.pdf?t=1486373394000 [viitattu 25.9.2022].

ST-käsikirja. 2019. Sähkötieto ry. Varavoimakoneet ja -laitokset.

SFS 6000-7-710:2017: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Lääkintätilat.

YSE. 1998. Urakoitsijan YSE-opas. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.

VAAHDONESTOAINEIDEN ANNOSTELUN OPTIMOINTI KUITULINJALLA

Matilda Monthan & Ritva Käyhkö

Asiasanat: vaahdonestoaine, kuitulinja, opinnäytetyö

Sulfaattisellun valmistuksen aikana syntyy runsaasti vaahtoavia tuotteita, ja ne vaikeuttavat sellun pesua ja lajittelua. Vaahtoamista aiheutuu, kun puuaineksesta poistetaan alkalisissa olosuhteissa ligniiniä ja uuteaineita. Vaahtoamisen estämiseen on olemassa erilaisia aineita, joilla sitä voidaan hillitä. Vaahdonesto voidaan jakaa kahteen eri alueeseen, joita ovat nestepinnoille muodostuvan vaahdonesto ja vesi-massaseoksessa olevan ilmanpoisto. (KnowPulp 2022; Tikka 2008, 364.)

Ruskean massan pesussa ilmentyy eniten vaahtoamista, sillä mustalipeä sisältää pinta-aktiivista ainetta. Massan tehokas pesu on tärkeää, jotta vaahtoamista ei pääse tapahtumaan myöhemmissä prosessivaiheissa. Vaahtoamista aiheutuu myös massan lajittelussa ja siirrossa vapaiden pudotuksien seurauksena. (KnowPulp 2022.)

Vaahdonestoaineita on useita erilaisia, mutta nykyään käytetyin on silikonipohjainen aine, sillä se on muita aineita tehokkaampi ja sitä tarvitaan vain noin 1/3–1/5 muihin aineisiin verrattuna. Vaahdonestoaineet ovat kalliita kemikaaleja, ja liiallisesti annosteltuina ne voivat kulkeutua lopputuotteeseen ja aiheuttaa ongelmia tuotteen jatkojalostuksessa. Yleensä vaahdonestoaineiden annostelussa ovat ongelmana tuotannossa tulevat heilahtelut, vaahdonestoaineen määrää ei muisteta muuttaa tuotantomäärän mukaan tai tilannetta korjataan lisäämällä vaahdonestoaineita. (KnowPulp 2022.)

TYÖN TAVOITE

Työ tehtiin Stora Enson sellutehtaalla Varkaudessa. Tehtaalla on käytössä silikonipohjainen sekä valkoöljypohjainen vaahdonestoaine. Työn tavoitteena oli selvittää alhaisin vaahdonestoaineen määrä, jolla prosessi toimii. Vaahdonestoaineen määrä selvitettiin Varkauden tehtaan kuitulinjan maksimituotannolle, eli 900 t/d-tuotannolle, sekä 800 t/d-tuotannolle.

Työssä selvitettiin myös, toimiiko prosessi ilman valkoöljypohjaista vaahdonestoaainetta, sillä sen käyttö haluttiin lopettaa. Vaahdonestoaineen määrän optimoinnilla haettiin säästöjä kemikaalikustannuksiin. Työ toteutettiin suorittamalla koeajoja, joissa vaahdonestoaineen määrää laskettiin tasaisesti muutaman tunnin välein ja seurattiin sen vaikutusta DD-pesurin johtokykyyn ja GF-pesureiden kierrosnopeuksiin.

MENETELMÄT

Varkauden tehtaan kuitulinjalla on kaksi DD-pesuria, jotka ovat kytketty sarjaan. Vaahdonestoaaineita annostellaan molempien DD-pesureiden pesunesteiden joukkoon sekä ensimmäisen DD-pesurin purkuruuville. DD-pesureille menevä vaahdonestoaaine on sili-konipohjaista. Valkoöljypohjainen vaahdonestoaaine annostellaan lajittelunsyöttösäiliöön. Vaahdonestoaaineiden määrän vähentäminen vaikutti myös GF-pesureiden kierrosnopeuksiin. Mikäli vaahdonestoaainetta annosteltiin liian vähän, nousi GF-pesureiden kierrosnopeudet. Liian nopeasta pesurin nopeudesta olisi pahimmassa tapauksessa voinut seurata massaradan putoaminen pesurin viiralta.

Koeajossa pyrittiin löytämään alhaisin vaahdonestoaineen määrä 900 t/d-tuotannolle, mikä on kuitulinjan täyden kapasiteetin tuotanto. Toinen koeajo suoritettiin pienemmällä tuotannolla, mikä oli 800 t/d-tuotanto. Vaahdonestoaaineita annosteltiin noin 450–350 g/Adt:tä eli 450–350 grammaa yhtä ilmakeivää sellutonnin kohden 900 t/d-tuotannolle. 800 t/d-tuotannolle vaahdonestoaainetta annosteltiin noin 100 g/Adt vähemmän.

Koeajossa vaahdonestoaaineiden annosta pudotettiin taulukoissa 1 ja 2 olevien arvojen mukaisesti. Tavoitteena oli saada prosessi toimimaan molemmilla tuotantomäärillä ilman valkoöljypohjaista vaahdonestoaainetta, joten sen määrää alettiin heti pienentämään ja tilannetta korjattiin ensin lisäämällä silikonipohjaisen vaahdonestoaineen määrää. Lopulta myös silikonipohjaisen vaahdonestoaineen määrää alettiin pudottaa, jotta kokonaisannos vähenisi tarpeeksi. Molemmissa koeajoissa vaahdonestoaineen annosta pudotettiin niin pitkään, että prosessi toimi varmasti.

Taulukko 1. 900 t/d-tuotannon koeajosuunnitelman annostus

Annostelu- kohteet	Lähtötilanne	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	g/Adt	g/ Adt	g/ Adt	g/ Adt	g/ Adt	g/ Adt	g/ Adt	g/ Adt	g/ Adt	g/ Adt	g/ Adt
DD3040	130	140	150	150	150	160	130	140	130	120	110
DD4040	65	75	80	70	70	80	80	70	65	60	55
Purkuruuvi	55	65	70	60	60	70	70	60	55	50	45
Lajittelun- syöttösäiliö	180	120	80	60	40	0	0	0	0	0	0
yht.	430	400	380	340	320	310	280	270	250	230	210

Taulukko 2. 800 t/d-tuotannon koeajosuunnitelman annostus

Annostelu- kohteet	Lähtötilanne	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	g/Adt	g/ Adt	g/ Adt	g/ Adt	g/ Adt	g/ Adt	g/ Adt	g/ Adt	g/ Adt	g/ Adt	g/ Adt
DD3040	120	130	130	130	130	120	110	110	110	110	110
DD4040	70	70	70	70	70	70	75	70	65	60	55
Purkuruuvi	60	60	60	60	60	60	65	60	55	50	45
Lajittelun- syöttösäiliö	80	60	40	20	0	0	0	0	0	0	0
yht.	330	320	300	280	260	250	250	240	230	220	210

TULOKSET

Ensimmäinen koeajo suoritettiin normaalilla tuotantomäärällä eli 900 t/d. Vaahdonestoaineen kokonaisannostelumäärä oli 430 grammaa ilmakeivaa sellutonnia kohden, josta 250 g/Adt oli silikonipohjaista vaahdonestoainetta ja loput 180 g/Adt valkoöljypohjaista. Annosta pudotettiin muutaman tunnin välein, ja samalla seurattiin johtokyvyn muutosta DD4040-pesurin suodoksesta ja GF-pesureiden pyörimisnopeuksia.

Koeajojen ensimmäisenä päivänä kokonaisannos pudotettiin koeajosuunnitelman mukaisesti 340 g/Adt:hen. Tämä annosmäärä jätettiin yön ajaksi. Seuraavana aamuna annosta pudotettiin uudestaan koeajosuunnitelman mukaisesti 320 g/Adt:hen. Tämä oli kuitenkin liian alhainen määrä, ja annosta jouduttiin lisäämään niin, että silikonipohjaista vaahdonestoainetta annosteltiin 280 g/Adt:hen ja valkoöljypohjaista 120 g/Adt:hen. Koeajot täytyi lopettaa tämän muutoksen jälkeen, sillä kuitulinjalla ilmeni muita ongelmia, joiden vuoksi vaahdonestoaineen määrää ei voitu enää pudottaa. Koeajoa jatkettiin parin päivän päästä, jolloin kokonaisannosta pudotettiin 400 g/Adt:hen ensin, seuraavaksi 380 g/Adt:hen ja vielä 340 g/Adt:hen, johon se jätettiin yön yli. Koeajoa ei voitu jatkaa seuraavana päivä-

nä kuitulinjan alasajon vuoksi. Koeajot keskeytyivät lopulta kokonaan Ukrainan sodasta seuranneiden Venäjä-pakotteiden vuoksi.

Pakotteiden seurauksena kuitulinjan tuotanto pudotettiin 800 t/d:hen ja koeajot aloitettiin uudestaan tälle tuotantomäärälle. Vaahdonestoaineen kokonaisannosmäärä oli koeajon alussa 330 g/Adt. Annosta muutettiin nostamalla silikonipohjaista ainetta 10 g/Adt:hen ja valkoöljypohjaista ainetta vähennettiin 20 g/Adt:hen. Tämän jälkeen annosta muutettiin pudottamalla valkoöljypohjaista vaahdonestoaainetta 20 g/Adt niin pitkään, että annos oli 0 g/Adt. Tämän jälkeen kokonaisannos oli 260 g/Adt, mikä jätettiin yön yli. Seuraavana päivänä annostusta muutettiin vähentämällä silikonipohjaisen vaahdonestoaineen määrää ja suhteita eri annostelukohteisiin. Annos pudotettiin alimmillaan 210 g/Adt:hen, josta operaattorit olivat nostaneet annoksen 220 g/Adt:hen myöhemmin illalla.

JOHTOPÄÄTÖKSET

900 t/d-tuotannolla vaahdonestoaineen määrä pudotettiin onnistuneesti 430 g/Adt:n tasolta 340 g/Adt:n tasolle. Johtokyky ja GF-pesureiden pyörimisnopeus alkoivat kasvaa melko nopeasti, kun vaahdonestoaainetta vähennettiin enemmän. Tämän koeajon perusteella ei voitu vielä osoittaa, että valkoöljypohjaista vaahdonestoaainetta voidaan jättää pois ilman, että silikonipohjaista ainetta lisätään merkittävästi. Prosessi toimi hyvin 340 g/Adt:n kokonaisannoksella, josta 280 g/Adt oli silikonipohjaista ja 60 g/Adt valkoöljypohjaista vaahdonestoaainetta.

800 t/d-tuotantomäärällä DD-pesurit pesivät tehokkaasti massaa, jolloin johtokyky pysyi koko ajan melko matalana, mikä kertoo pesutuloksen olevan erittäin hyvä, vaikka vaahdonestoaineen määrää laskettiin paljon. Koeajossa kokeiltiin pudottaa DD3040-pesurille menevää annosta ja lisätä DD4040-pesurille ja DD3040-purkuruuville menevää annosta, jotta GF-pesureiden kierrosnopeus olisi pudonnut. Lopulta päädyttiin kuitenkin siihen tulokseen, että on parempi annostella GF-pesureille vähemmän, sillä on vaarana, että silikoni pääsee kulkeutumaan lopputuotteeseen. Valkoöljypohjainen vaahdonestoaine vaikuttaa eniten GF-pesureiden toimintaan, mutta sen pois jättäminen ei kuitenkaan tuonut merkittävää muutosta niiden kierrosnopeuksiin tällä tuotantomäärällä.

Jatkoselvityksenä tälle työlle voisi olla täyden tuotannon eli 900 t/d-tuotannon koeajon suorittaminen loppuun. Vaahdonestoaineen annostelun automatisointi voisi tuoda helpotusta oikean määrän annosteluun. Tuotantomäärän muuttuessa vaahdonestoaineen annostelu ei olisi operaattorin muistettavana, vaan se tapahtuisi automaattisesti. Automatisoinnin avulla vältettäisiin vaahdonestoaineen liiallisen ja liian vähäisen annostelun tuomat ongelmat.

LÄHTEET

Opinnäytetyö [Vaahdonestoaineiden annostelun optimointi kuitulinjalla](#)

KnowPulp. 2022. KnowPulp sellunvalmistuksen oppimisympäristö. AEL and Prowledge Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.knowpulp.com/www/suomi/kps/ui/know-pulp.htm> [viitattu 28.9.2022].

Tikka, P. 2008. Papermaking Science and Technology. Chemical pulping part 2, Recovery of Chemicals and Energy. 2. painos. Helsinki. Paperi ja Puu Oy. E-kirja. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi> [viitattu 28.9.2022].

JUVAN KUNNAN KIINTEISTÖ-STRATEGIAN PÄIVITYS

Saana Grün & Petteri Järvelä

Asiasanat: kiinteistöstrategia, kiinteistönpito, kuntokartoitus, kuntoluokka, käyttöaste

Kiinteistöjen tulevaisuutta suunniteltaessa laaditaan kiinteistöstrategia, johon tarkasteltavat kiinteistöt on yleensä luokiteltu sen mukaan, kuinka niitä tulevaisuudessa halutaan kehittää. Järjestelmällisten kiinteistöstrategioiden laadinnassa hyödynnetään lähes aina suunnitelmallisen kunnossapidon yhtä keskeisintä työkalua, pitkän tähtäimen kunnossapidon suunnitelmaa, eli PTS:ää. Pitkän tähtäimen kunnossapitosuunnitelma määrittelee tarkasti toteutettavat korjaus- ja kunnostustoimenpiteet tietyllä aikavälillä. Yleensä tämä aikaväli on vähintään 10 vuotta. (PTS 2022.)

PTS laaditaan kuntoarvion ja kunnossapitosuunnitelmaehdotuksen (PTS-ehdotuksen) pohjalta. Kiinteistön kuntoarviossa tarkastetaan yksityiskohtaisesti ja seikkaperäisesti jokainen kiinteistön tekninen osa ja -rakenne. Kuntoarvion suorittavat asiantuntijat laativat yhdessä kiinteistön kunnosta raportin, johon PTS-ehdotus perustuu. (Kiinteistön kuntoarvio 2014.) Kuntoarviolla siis perustellaan kiinteistön kuntoa ja korjaustarpeiden kiireellisyyttä, joiden perusteella kiinteistölle määräytyy kuntoluokka. Kuntoluokituksen avulla rakennuksia ja rakennusosia voidaan vertailla keskenään. (RT 103098: 2019.)

Kiinteistöjen kustannusten ja kunnostamisen kannalta oleellista on se, että ne ovat myös mahdollisimman suurella käytöllä. Kiinteistön käyttöaste auttaa mittaamaan sitä, kuinka tehokkaasti kiinteistöä käytetään. Käyttöasteella tarkoitetaan käytetyn tilan suhdetta käytettävissä olevan tilan kokonaismäärään, ja sitä käytetään muun muassa hotelleissa, sairaaloissa ja vuokra-asunnoissa. (Occupancy Rate 2020.)

TYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET

Juvan kunnan ajankohtaisena tarpeena on kunnallisen kiinteistöstrategian päivittäminen. Kiinteistöstrategian päivittämistä varten on kunta nimennyt erillisen työryhmän. Opinnäytetyön ensimmäisenä päätavoitteena oli tarjota työryhmälle ajankohtaista ja konkreettista tietoa neljän kunnan omistaman kiinteistön teknisestä tilasta, määritellä kiinteistöille kuntoluokat ja käyttöasteet ja suositella tulevia korjaus- ja kunnostustoimenpiteitä kiinteistöihin sekä toimenpiteitä, joilla kiinteistöjen energiatehokkuutta voitaisiin parantaa.

Kunnan teknisellä toimella oli jo käytössään eräs pilvipalvelussa oleva suunnitelmallisen kiinteistönpidon ohjelma. Ohjelman kehittäjät olivat tarjonneet opinnäytetyön ajaksi testiin ohjelman lisäosaa, joka on erikoistunut korjaussuunnitelmien laatimiseen. Opinnäytetyön toisena päättävöitteena oli tutkia ohjelman lisäosan toimivuutta ja pohtia, olisiko lisäosa hyödyllinen kunnalle. Tulevat korjaus- ja kunnostustoimenpiteet siis kirjattiin myös suunnitelmallisen kiinteistönpidon ohjelman lisäosaan. Työn konkreettisena lopputuloksena oli tarkoitus kirjoittaa neljälle kiinteistölle kuntoarviokatselmuks, joista selviää kiinteistön yleiskunto, suositellut energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet, käyttöaste ja kuntoluokka, sekä laatia PTS-ehdotukset seuraavalle 20 vuodelle. Kuvassa 1 on havainnollistettu sitä, miltä PTS-ehdotus tulisi näyttämään katselmuksen lopussa olevana liitteenä.

Esimerkki PTS-kuntosuunnitelmaehdotuksesta											
Hinta-arvio € (alv 0 %). Suunnittelukulut eivät sisälly arviohintoihin											
		2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Perustukset ja salaojat	Salaojien huuhtelu					4000					
Ulkoseinät	Elastisten saumamassojen uusiminen				7000						
Ulkoseinät	Kuntotutkimus				6000						
Vesikatto	Pienet kunnostustyöt		2000								
Tilat	Kellarin teknisten tilojen läpivientien tiivistykset	5000									
Lämmitysjärjestelmät	Kaukolämpökeskuksen uusiminen			40 000							
Vesi- ja viemärijärjestelmät	Vesikalusteiden tarkastus ja heikkokuntoisten uusiminen		5000				5000				
Vesi- ja viemärijärjestelmät	Vesi- ja viemärijärjestelmien kuntotutkimus										5000
Ilmanvaihtojärjestelmät	Ilmanvaihtokanavien puhdistus				10 000				10 000		
Suunnitelmallinen kiinteistönpito											
Kuntoarvio					15 000					15 000	
Julkisivun kuntotutkimus						10 000					
Energiakatselmus							9000				
Yhteensä €		148 000	5000	7000	40000	38000	14000	14 000		10000	15000
€/vuosi		14800									

Kuva 1. Havainnekuva PTS-ehdotuksesta

Kuvassa 1 olevassa taulukossa on esitetty 10 vuoden ajalle laadittu esimerkki PTS-ehdotuksesta keksitylle rakennukselle. Vasemmanpuolimmaisessa sarakkeessa on esitetty järjestelmän osa, johon toimenpide suoritetaan, ja viereen on määritelty tarkemmin suoritettava toimenpide. Oikealla puolella on esitetty vuosi, jolle toimenpide ajoittuu, sekä kustannusarvio toimenpiteestä. Alas on laskettu toimenpiteiden vuotuiset hinta-arviot yhteen ja takaisin vasemmalle kiinteistön vuotuiset kustannusarviot 10 vuoden ajalta.

TYÖSSÄ KÄYTETYT LÄHDEMATERIAALIT JA MENETELMÄT

Tärkeimpänä lähdemateriaalina työtä määriteltäessä toimi Rakennustieto Oy:n julkaisu Kiinteistön kuntoarvio (2014). Julkaisun pohjalta pystyttiin määrittelemään tarkalleen, mihin osaan työssä tulisi keskittyä, kun laaditaan kiinteistöille kunnossapitosuunnitelmia, sekä mitä halutaan tuottaa konkreettisenä työn lopputuloksena. Julkaisun lisäksi yksi tärkeimpiä pohjia työlle oli Rakennustieto Oy:n ohjekortti RT 18-10922, Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot (2008). Ohjekorttia sovellettiin laadittaessa kyselylomakkeita asiantuntijoiden haastattelua varten. Myöhemmin sitä hyödynnettiin myös PTS-ehdotusten korjaustoimenpiteiden ajankohtia määriteltäessä. Muita käytettyjä materiaaleja oli muun muassa Rakennustieto Oy:n ohjekortti RT 103098, Kiinteistön kuntoarvio, Kuntoluokan määräytyminen (2019). Ohjekortin avulla määriteltiin kiinteistön kuntoluokka, joka kuvastaa kaikista suoraselitteisimmin kiinteistön kuntoa. Taulukossa 1 on esitetty kaikki viisi kuntoluokkaa paremmuusjärjestyksessä.

Taulukko 1. Kuntoluokat (Kiinteistön kuntoarvio 2014, 65)

Luokka	Kuvaus
5	Uusi, ei toimenpiteitä seuraavan 10 vuoden aikana
4	Hyvä, kevyt huoltokorjaus 6–10 vuoden aikana
3	Tyydyttävä, kevyt huoltokorjaus 1–5 vuoden kuluessa, tai peruskorjaus 6–10 vuoden kuluessa
2	Välttävä, peruskorjaus 1–5 vuoden kuluessa, tai uusiminen 6–10 vuoden kuluessa
1	Heikko, uusitaan 1–5 vuoden kuluessa

Taulukossa 1 esitettyjä kuntoluokkia luetaan ylhäältä alaspäin, jolloin korkein arvosana kuvastaa uutta rakennusta, rakennetta tai järjestelmää. Ohjekortissa RT 103098 (2019) on määritelty tarkemmat kuntoluokitusohjeet kaikille kiinteistön eri nimikkeille. Kuntoluokan kaikkien kriteerien on toteuduttava, jotta kuntoluokka voidaan antaa. Jos kriteerit eivät toteudu, joudutaan kuntoluokkaa pudottamaan. (RT 103098: 2019.)

Työn päämenetelminä toimivat asiantuntijoiden haastattelut ja raportointi. Prosessi lähti liikkeelle haastattelulomakkeen laatimisesta, jossa käytiin läpi ensin kiinteistön perustiedot ja yleiskunto, jonka mukaan kuntoluokka määriteltiin. Seuraavana selvitettiin rakennuksen huoneiden kokonaislukumäärä ja käytössä olevien huoneiden lukumäärä (pois lukien vessat, varastot ja muut vastaavat tilat). Näillä tiedoilla saatiin arvioitua kiinteistön käyttöastetta. Sitten lomakkeella käytiin läpi yksitellen ja järjestelmällisesti rakennustekniikkaa pääpiirteittäin ja LVI-perusjärjestelmät. Lopuksi kyseltiin vielä kiinteistön energiankulutuksesta ja energiatodistuksista.

Seuraavana vaiheena työn toteuttamisessa oli sopia ajankohdat haastatteluille asiantuntijoiden kanssa. Haastatteluissa käytiin kyselylomake kohta kohdalta läpi ja kirjattiin asiantuntijoiden vastaukset ylös. Kuntoluokan määrittämisessä asiantuntijoille esitettiin taulukko 1, ja heitä pyydettiin antamaan numeraaliset arvosanat eri järjestelmille ja rakenteille. Arvosanoista laskettiin keskiarvo, joka määritteli lopullisen kuntoluokan. Käyttöaste määriteltiin suhteuttamalla käytössä olevien huoneiden lukumäärä huoneiden nettomäärään. Tällöin saatiin laskettua prosentuaalinen arvo, mikä kuvastaa kiinteistön käyttöastetta.

TULOKSET

Neljäksi tarkasteltavaksi kiinteistöksi valittiin Juvan kunnanvirasto, koska se on yksi keisimpiä rakennuksia kylällä, Paatelan kyläkoulu, jotta katselmusta voidaan myöhemmin soveltaa muihin vanhoihin rakennuksiin, Vesiliikuntakeskus Sampola, koska sitä oli muutama vuosi sitten laajennettu ja peruskorjattu, sekä Vaalijalan kuntayhtymälle vuokrattu Savoset, koska sen kunnosta ei ollut varmuutta.

Prosessin kolmas vaihe oli raportointi. Tässä vaiheessa kirjoitettiin haastattelulomakkeiden pohjalta kuntoarviokatselmukset ja määriteltiin tulevat korjaustoimenpiteet kiinteistöille seuraavan 20 vuoden ajalle. Kuntoarviokatselmukset kirjoitettiin Xamk:n pitkän raportin pohjalle. Katselmusten runko oli jokaiselle kiinteistölle samanlainen. Ensimmäisessä esiteltiin, mikä kyseinen raportti on, mihin sitä käytetään ja mitä se sisältää. Seuraavaksi kerrottiin kiinteistön perustiedot. Tämän jälkeen esitettiin yhteenveto kiinteistön tämänhetkisestä kunnosta ja energiataloudesta. Seuraavaksi määriteltiin sanallisesti tärkeimmät suositellut toimenpiteet tulevaisuudessa. Toimenpiteiden ajoitusta pohdittiin tässä kohtaan myös niin, että ne ajoittuvat useampi kerralla hoidettavaksi. Asiatekstin jälkeen esitettiin vielä lähdeluettelo sekä lopuksi liitteinä täytetty kyselylomake ja PTS-ehdotukset, kuten kuvassa 1 on havainnollistettu.

Tuloksia verratessa RT-ohjekorttiin Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitokaksot (RT 18-10922) huomattiin, että lähes jokaisessa kiinteistössä olisi tehtävä suurempia korjaustoimenpiteitä seuraavina vuosikymmeninä, jos kiinteistöt halutaan pitää käyttökuntoisina. Kiinteistöjen kuntoja arvioidessa voidaan huomata, että osaa huolto- ja korjaustoimenpiteistä on pitkittetty välillä huomattaviakin aikoja. Kiinteistöjen käyttöasteissa oli selkeää vaihtelua. Vähäisimmällä käytöllä on kunnanvirasto, jonka käyttöaste oli vain 45 %. Kunnostus- ja korjaustoimenpiteiden hinta-arviot määriteltiin Urakkamaailman (2022) toteutuneiden urakoiden mukaan. Suurempien kiinteistöjen remonttien hinta-arvioita joudutaan kuitenkin kyseenalaistamaan enemmän kuin muitten kiinteistöjen. Syynä tähän on kiinteistöjen suuri koko, ja Urakkamaailmassa olevat toteutuneet remontit on tehty lähinnä pientaloihin.

Suunnitelmallisen kiinteistönpidon BEM-kunnossapito-ohjelman lisäosa BEM-ylläpito (2021) todettiin työtä tehdessä sopivan oikein hyvin keskeiseksi osaksi ennakoivaa ja suun-

nitelmallista kiinteistönpitoa. Järjestelmä on helppokäyttöinen, mutta se ei sovi oikein hyvin kannettavalle tietokoneelle. Pöyräkoneella ohjelman kanssa ei ollut mitään ongelmia. Järjestelmän käyttöönottamista suositeltiin toimeksiantajille. Kuvassa 2 on esitetty, miltä BEM-ylläpito näyttää käytössä.

The screenshot shows the 'Kunnossapito-ohjelma' (Maintenance Program) interface. It includes filters for years (2022, 2041), categories (All tasks, All work orders, All maintenance costs), and a checkbox for 'Näytetään vuosittain ulkopuoliset toimenpiteet'. The main table displays a 10-year budget plan with columns for years 2022 through 2029. The rows list various maintenance tasks with their corresponding budgeted amounts.

Toimenpiteen kohde	Toimenpide	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
3.2.2.3.3 Uiko-ovet Kunnanvirasto	Uusiminen		5 250,00 € (Ei tuloa) (Ei tuloa)						
3.2.2.4.1 Yläpohja Kunnanvirasto	Vesikatvoremontti			40 000,00 € (Ei tuloa) (Ei tuloa)					
3.2.2.6.3 Lattapinnat Kunnanvirasto	Alapohjan kosteudenkatkoitus pernoitteen p...								400,00 € (Ei tuloa) (Ei tuloa)
Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmä Kunnanvirasto	Ilmanvaihtokoneiden uusiminen			35 000,00 € (Ei tuloa) (Ei tuloa)					
Yhteensä		6 010,00 €	662 150,00 €	103 000,00 €	3 000,00 €	0,00 €	1 006 000,00 €	0,00 €	400,00 €
	Budjetoidut:	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
	Toteutuneet:	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €

Kuva 2. BEM-ylläpito

POHDINTA

Koska PTS-ehdotuksen laatii aina ryhmä eri alojen asiantuntijoita, opinnäytetyötä toteutettaessa täytyi sisältöä ja toteutusta rajata huomattavasti. Täysimittaisen kuntoarvion sijaan haastateltiin rakennusten kunnosta tietoisia asiantuntijoita. Työn sisällössä on huomioitu rakennusten LVI-perusjärjestelmät (lämmitys-, ilmanvaihto- ja vesi- ja viemärijärjestelmät), pääpiirteittäin rakennustekniikka sekä kiinteistöjen energiataloutta. Sähkö- ja automaatio-tekniikka ei ole huomioitu. Näin on pystytty mahdollistamaan työn laaja, mutta realistinen toteutus. Työtä suunniteltaessa oli tarkoituksena tarkastella vielä lisäksi muita kiinteistöjä sekä tunnuslukuja, mutta tähän ei aika riittänyt. Jo työtä rajattaessa olisi tämä tullut huomioida. Toteutusmenetelmä oli oikein toimiva, ja samankaltaisia tutkimuksia pystytään varmasti toistamaan jatkossakin vastaavalla menetelmällä.

LÄHTEET

Opinnäytetyö Juvan kunnan kiinteistöstrategian päivitys

BEM-ylläpito. 2021. Buildercom. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://buildercom.fi/tuotteet/yllapito/> [viitattu 27.10.2022].

Occupancy Rate. 2020. Investopedia. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.investopedia.com/terms/o/occupancy-ra-te.asp#:~:text=Occupancy%20rate%20is%20the%20ratio%20of%20rented%20or,bed-and-break-fasts%2C%20hotels%2C%20and%20rental%20units%2C%20among%20other%20categories> [viitattu 21.10.2022].

Rakennustieto Oy. 2014. Kiinteistön kuntoarvio. Tampere: Tammerprint Oy.

RT 18-10922. 2008. Rakennustieto. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot.

RT 103098. 2019. Rakennustieto. Kiinteistön kuntoarvio. Kuntoluokan määräytyminen.

Talokeskus. 2022. PTS. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.talokeskus.fi/kiinteiston-pts> [viitattu 19.10.2022].

Urakkamaailma. 2022. Remonttiopas. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.urakkamaailma.fi/> [viitattu 23.10.2022].

ILMANVAIHTOKONEEN MITOITUKSEN OPTIMOINTI TARPEENMUKAISESSA ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄSSÄ

Oskari Vattu & Johanna Arola

Asiasanat: tarpeenmukainen ilmanvaihto, ilmanvaihtokone, käyttöaste, toimintapiste.

Tarpeenmukaisten ilmanvaihtojärjestelmien toimivuudessa on ilmennyt useissa kohteissa ongelmia, jolloin lopputuloksena on ollut huono sisäilma ja saavuttamattomat energiansäästöt. Huonot kokemukset ovat johtaneet siihen, että uusissa hankkeissa järjestelmän soveltuvuutta on alettu epäilemään ja välttelemään. Herkästi päädytään vakioilmavirtaiseen järjestelmään, jossa ilmanvaihto käy jatkuvasti tarpeettoman suurella teholla. Suunta on huolestuttava, sillä ilmanvaihdon tarpeenmukainen käyttö on oikein toteutettuna merkittävimpiä keinoja rakennusten energiankulutusten säästämiseksi kohteissa, joissa käyttäjämäärät vaihtelevat jatkuvasti, ja välttämättä koskaan ei kohteessa ole samanaikaisesti sellaista henkilömäärää, johon enimmillään on varauduttu.

Tiukentuvat energiamääräykset sekä ilmanvaihdon mitoitusoppaat ohjaavat tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän valintaan muun muassa koulu- ja päiväkotirakennuksissa, joissa käyttöasteiden vaihtelut ovat merkittäviä. Tarkan todellisen käyttöasteen ennustaminen rakennuskohtaisesti on kuitenkin haastavaa, eikä tarpeenmukaisen ilmanvaihdon mitoituksessa samanaikaisuuskertoimen huomioimiselle ole vielä ohjeistusta. Tämän vuoksi suunnittelussa saatetaan herkästi syyllistyä ylimitoittamaan ilmanvaihtokone ja sen toimintapisteet, mikä heikentää järjestelmän toimintavarmuutta sekä energiatehokkuutta. Jotta jatkossa voitaisiin mitoittaa kohteisiin paremmin soveltuvia ilmanvaihtokoneita, tarvitaan tutkimusdataa toteutuneista kohteista. Opinnäytetyössä tutkittiin toteutuneita ilmavirtoja valmistuneissa rakennuksissa ja tarkasteltiin tulosten pohjalta ilmanvaihtokoneen toiminta-alueiden tehokkuutta.

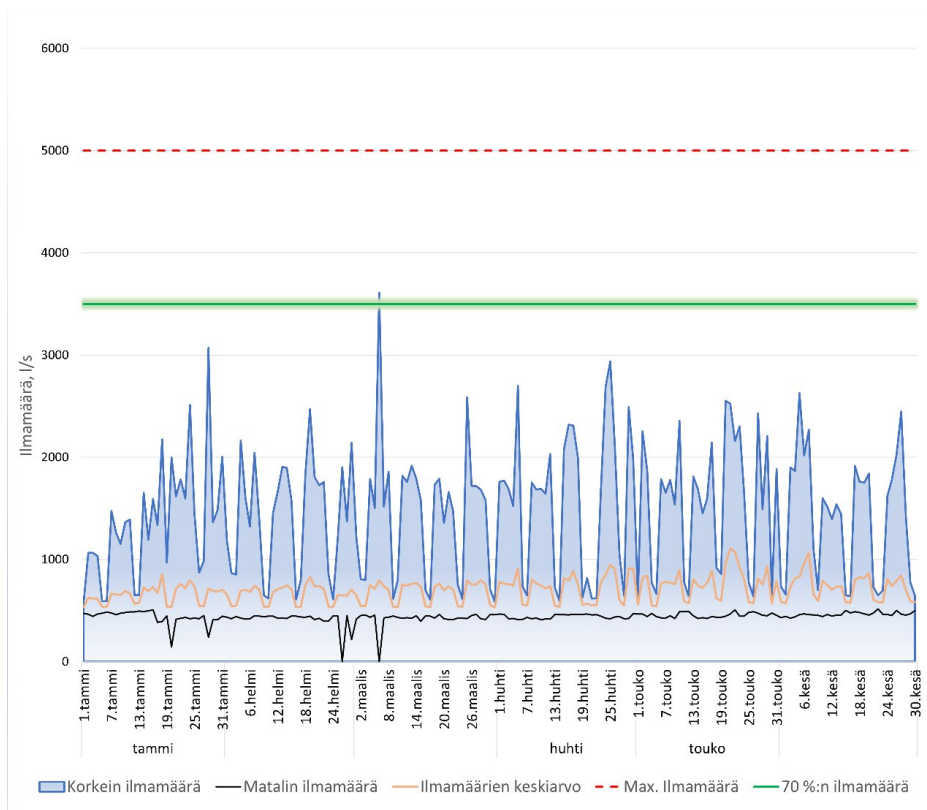
TOTEUTUNEIDEN KOHTEIDEN TARKASTELU

Rakennusten toteutuneita ilmamääriä tarkasteltiin kahdesta päiväkotikohteesta sekä yhdestä koulurakennuskohteesta. Tarkastelluissa kohteissa on Swegon WISE -tarpeenmukaiset

ilmanvaihtojärjestelmät ja niiden toteutuneet ilmamäärien arvot on kerätty Exceliin järjestelmään liitetystä Swegon Connect -pilvipalvelusta, jossa on saatavilla ilmavirtojen tiedot minuutin tarkkuudella. Excelin datasta on muodostettu Pivot-taulukot, joiden pohjalta muodostettu Pivot-kaaviot analysointia varten. Toteutuneiden tuloksien pohjalta määritettiin yleisimmät puhaltimien toimintapisteet ja merkittiin ne koneajon puhallinkäyrille arvioitulla kokonaispainehäviöllä. Puhaltimen toimintaa vertailtiin tarvittaessa eri puhallinkoon puhallinkäyrään sekä tarkasteltiin niiden vaikutuksia SFP-lukuihin.

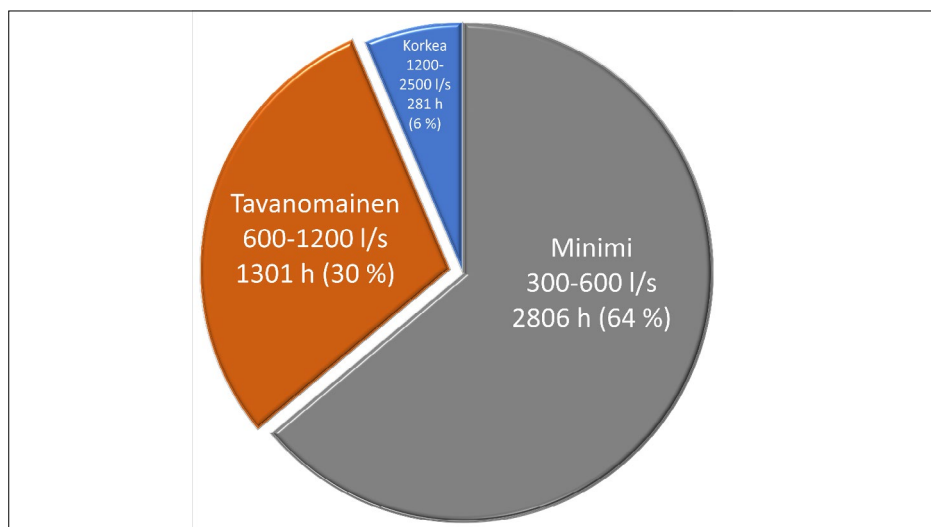
TOTEUTUNEET ILMAMÄÄRÄT PÄIVÄKOTIRAKENNUKSESSA

Kuvan 1 kuvaajassa on esitetty ilmamäärien vaihtelua tammikuun alusta kesäkuun loppuun tarkastellussa kohteessa A. Kohde A on vuonna 2018 rakennettu päiväkotikoti, jonka kerrosala on noin 1400 m². Päiväkodin aukioloajat ovat maanantaista perjantaihin kello 07:00 - 17:00, ja lapsiryhmiä on yhteensä kuusi. Ilmavirtojen vaihtelut säilyivät vastaavina heinäkuun ja joulukuun välisellä ajanjaksolla. Kuvaajista kävi ilmi, että toteutuneet ilmamäärät ovat korkeimmillaankin huomattavasti ilmanvaihtokoneen täyttä mitoitetua kapasiteettia alhaisemmat. Korkein käyttöaste ajoittuu tavanomaisesti aamuun, ja päivien välillä on huomattavia eroja ilmanvaihdon tarpeessa.



Kuva 1. Kohteen toteutuneet ilmamäärät tammi-kesäkuun aikana

Kuvan 2 ympyrädiagrammissa on havainnollistettu puolen vuoden tarkastelujaksolla il-
mamäärien toiminta-alueiden jakautumista kolmeen eri osa-alueeseen. Diagrammista
havaitaan, että yli puolet koko ilmanvaihtojärjestelmän käyntiajasta puhaltimet käyvät
minimi-ilmavirroilla. Vain 6 prosenttia koko käyntiajasta ilmamäärät ovat yli 1200 l/s,
joten ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuuden ja toiminnan kannalta ovat puhaltimen
tehokkuus matalilla ilmavirroilla tärkeässä roolissa.



Kuva 2. Ilmamäärä-alueiden jakautuminen tarkastelujaksolla

Koska ilmavirrat ovat huomattavan alhaiset suhteessa ilmanvaihtojärjestelmään valitun
ilmanvaihtokoneen kokoon, oli syytä tarkastella yleisimpiä toteutuneita toimintapisteitä
nykyisen ilmanvaihtokoneen puhallinkäyrällä. Taulukossa 1 on esitelty koneajosta saadut
arviot SFP-luvuista, mikäli nykyisen ilmanvaihtokoneen tilalla olisi yhden koon pienempi
GOLD RX 35/35. Tuloksista todetaan, että puhaltimen käydessä alhaisemmilla ilmavirroilla
on SFP-luku huomattavasti alhaisempi pienemmän ilmanvaihtokoneen puhaltimilla. Koska
käyntiajasta yli 1,8 m³ /s ilmavirtojen osuus on hyvin pieni, olisi käytännössä pienempi
ilmanvaihtokone energiatehokkaampi siitä huolimatta, että korkeimmilla ilmavirroilla
SFP-luku on pienemmän koneen puhaltimissa hieman suurempi.

Taulukko 1. SFP-lukujen vaihtelut vertailuilla ilmanvaihtokoneilla

Toimintapisteen ilmamäärät, l/s	GOLD RX 40/40 SFP, nykyinen kW/(m3/s)	GOLD RX 35/35 SFP, vaihtoehtoinen kW/(m3/s)	Muutos
3,0	1,59	1,67	+5 %
2,5	1,26	1,26	0 %
1,5	0,85	0,77	-9 %
1,0	0,71	0,62	-13 %
0,7*	0,64	0,55	-14 %

*alhaisin mahdollinen ilmavirta nykyiselle koneelle mitoituksessa.

YHTEENVETO JA JATKOTUTKIMUSTARPEET

Kaikista tarkastelluista kohteista todettiin, että tarpeenmukaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä toteutuneiden ilmavirtojen vaihtelut ovat merkittäviä ja suurimman osan ajasta ilmanvaihtokoneet toimivat alle 50 % teholla ilmanvaihtokoneiden kokonaiskapasiteetteihin nähden. Näin ollen on erittäin tärkeää ottaa huomioon puhaltimen suorituskyky alhaisemmillä toimintapisteillä, joissa puhaltimet tavanomaisesti käyvät suurimman osan ajasta. Yllättävin havainto tarkastelluissa kohteissa oli kohteen A minimi-ilmavirtojen osuuden laajuus ja kuinka sen toimintapiste jäi kokonaan puhallinkäyrän ulkopuolelle siitä huolimatta, että ne vastasivat suurinta osaa koko puhaltimen käyntiajasta. Kohteessa A pienemmän ilmanvaihtokoneen valinnasta olisi ollut konkreettista etua, ja muissa tarkastelluissa kohteissa valitut ilmanvaihtokoneet olivat valittavissa olleista vaihtoehtoista optimaalisimmat.

Opinnäytetyö antoi pohjaa jatkotutkimuksille, jotta tulevaisuudessa saataisiin kattavammin vertailukohteita todellisen käyttöasteen ennakoimiseksi rakennuksissa. Tutkimusten pohjalta tulisi muodostaa lopulta tarkemmat, määräyksiin ja asetuksiin perustuvat ohjeistukset tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluun esimerkiksi RT-ohjekortin muodossa, jossa on esitetty samanaikaisuuskertoimet eri rakennustyypeille. Näin tulevaisuudessa suunnittelijoilla olisi selkeämpi noudatettava linjaus tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän optimaaliseen mitoittamiseen.

LÄHTEET

Opinnäytetyö [Ilmanvaihtokoneen mitoituksen optimointi tarpeenmukaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä](#)

TULEVAISUUDEN TESTISÄÄN VAIKUTUS ASUINKERROS- TALOJEN YLILÄMPENEMISESSÄ

Mikko Karttunen & Johanna Arola

Asiasanat: Sisäilmasto, asuinkerrostalo, ylitämpeneminen, simulaatio, IDA ICE

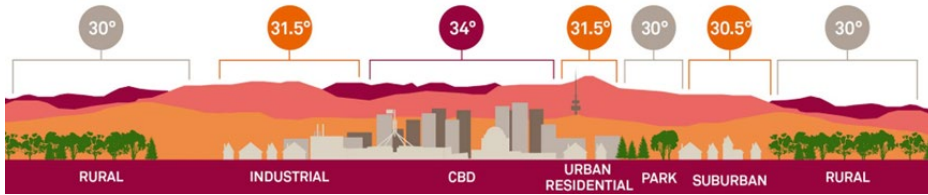
Olemme jo saaneet huomata, kuinka ilmastonmuutos on vaikuttanut kesiimme. Ilmastonmuutos on käynnissä, kesän hellejaksot ovat pidentyneet ja tulevat pidentymään entisestään [1]. Tämä tulee vaatimaan rakennuksiltamme kykyä selvittää näistä hellejaksoista ja luoda hyvät ja terveelliset sisäilmasto-olosuhteet käyttäjilleen. Aihe on myös valtakunnallisesti merkittävä terveyden, hyvinvoinnin ja energian kannalta. Rakentamisessa tulisikin entistä enemmän ja tarkemmin kiinnittää huomiota rakennuksien ylitämpenemiseen ja sen ennalta ehkäisemiseen. Ylitämpö on paitsi ikävä viihtyisyyden kannalta, myös todistetusti terveydellinen haitta. THL on raportoinut, että jopa 400 ihmistä vuodessa kuolee ylitämpöisyyden takia suoraan tai johdannaisesti. Oikein suunnitellut asuinrakennukset ovat myös energiatehokkaita ja ovat avainasemassa kohti energiaitsenäisempää Suomea [2].

ASUINKERROSTALOJEN NYKYTILANNE JA TULEVAISUUS

Ilmaston lämpeneminen tulisi huomioida suunnittelussa ja ennen kaikkea asuinkerrostalo-suunnittelussa. Useat kerrostalot on suunniteltu siten, ettei asukkaalla ole mahdollisuutta säätää huoneistonsa ilmamäärää jäähdytysmielessä, kuten vaikka on omakotitalossa. Uusia toimistorakennuksia ja liikekiinteistöjä varustetaan siten, että tiloja voidaan jäähdyttää ilmanvaihdolla ja/tai tilakohtaisilla jäähdytyksillä. Monasti ylitämpeneminen ja sen riskit jäävät asuinkerrostaloissa huomioimatta, vaikka tämä tulisi huomioida jo suunnittelussa, mutta viimeistään rakennusvaiheessa siten, ettei haitallista lämmön nousua tapahtuisi lainkaan. [3.]

Kaupunkialueet kärsivät kaikkein eniten ilmastonmuutoksen mukana tuomista helteistä, sillä kaupunkiympäristö kätkee sisäänsä piilevän uhan Urban Heat Island UHI:n. UHI on suomalaisittain lämpösaari-ilmiö. UHI-efektin saa aikaan sen, että kaupungissa voi olla monta astetta kuumempaa kuin vaikka lähiössä, jossa talot eivät ole kiinni toisissaan.

Tämän syynä ovat tummat pinnat, raskaat rakennusmateriaalit, heijastamattomat pinnat ja kaupunkien vähäinen kasvillisuus (kuva 1).



Kuva 1. Lämpötilojen erot kaupungin ja metsän välillä [4]

TESTIVUODEN SÄÄTIEDOSTO NYKYÄÄN JA TULEVAISUUDESSA

Kesäajan huonelämpötilatarkastelu toteutetaan Ympäristöministeriön asetuksen uuden rakennuksen energiatehokkuudesta mukaisesti. Näissä laskelmissa käytetään edelleen energialaskennan testivuotta TRY 2012. Asiaa kommentoi Aalto yliopiston LVI-tekniikan professori Risto Kosonen 6.4.2022 pitämässään luennossa Kaakkois-Suomen ammatti-korkeakoululla seuraavasti:

”Suunnittelussa käytetään keskiarvokesän lämpötiloja 30 vuoden ajalta, ei hellekesän lämpötiloja. Siksi jo nykyisinä hellekesinä sisälämpötilat nousevat uusissa rakennuksissa epämukavan ja jopa vaarallisen korkeiksi.”

Ilmatieteen laitos on kirjoittanut raportissaan, että testivuoden TRY2012 säätiedostoa laadittaessa on ilmennyt epäjatkuvuuksien olleen suuria etenkin suhteellisten kosteuksien ja lämpötilojen osalta. Ilmatieteen laitos on luonut TRY2012:n pohjalta uudet testivuodet vuosille 2030, 2050 ja 2100. Testivuosien suurin ja merkittävin ero ovat kohonneet lämpötilat. Pelkästään TRY2012- ja TRY2030-testivuosien vertailulla on voitu laskea jäähdytysenergian tarpeen kasvavan 13–19 %. Raportin tärkeimpänä huomiona korostuu kuitenkin, etteivät testivuosiaineistot sovellu lämmitys- eikä jäähdytystehontarvelaskentaan, vaikka niitä siinä käytetäänkin. [5, s.59–60.]

ASUINKERROSTALOJEN KESÄAJAN HUONELÄMPÖTILOJEN TARKASTELU

Tällä hetkellä lämpöolosuhteiden oikealla tarkastelulla voitaisiin puuttua rakennusten ylikäpötilahallintaan, helpottaa tilannetta ja jopa poistaa epäkohtia ennalta, mutta tätä ei osata tai viitsitä hoitaa järkevästi. Esimerkiksi suunnitteluvaiheessa ei vieläkään aina tehdä lämpöolosuhteiden tarkastelua, vaikka sitä jo selvästi vaaditaan energiamääräyksissä. Tarkastelu saatetaan useasti mainita raporteissa, mutta sitä ei silti välttämättä dokumentoida millään tavalla. [6.]

Tämä johtaa siihen, että yllämpenemistä ei huomioida joko epätietoisuudesta johtuen tai suoraan tarkoituksella, mikä johtaa yllämpöongelmiin uusimmissakin rakennuskohteissa. Pelkästään toimivilla passiivisilla ratkaisuilla voitaisiin vähentää, jopa poistaa, yllämpöongelmat kokonaan simulaatiomalleja hyödyntämällä. Simulaatioissa voidaan lisätä rakennukseen lippoja, muuttaa ikkunoiden kokoja, jatkaa räystäitä, lisätä parvekkeita tai yksinkertaisesti muuttaa ikkunoiden suuntausta sekä lasien laatua ja tarkastella näiden vaikutusta sisäolosuhteisiin. Mikäli näilläkään ei saavutettaisi haluttuja tuloksia, pystyttäisiin simulaatioiden avulla selvittämään aktiiviseen jäähdytykseen vaadittavan tehon määrä. [7.]

MALLINTAMISEN JA OLOSUHDESIMULOINTIEN MAHDOLLISUUDET JA HYÖDYT

Mallien ja simulaatioiden avulla voidaan tuottaa arvokasta tietoa kunnostuksen tai jo rakennushankkeen alkuvaiheissa, kun käydään läpi eri mahdollisuuksia ja niiden etuja. Energia- ja olosuhdesimulaatioissa tietokoneelle luodaan 3D-tilamalli, johon on asetettu saatuja tai suunniteltuja rakenteiden eristävyys- ja taloteknisiä tietoja, kuten ilmanvaihtolaitteet ja niiden hyötysuhteet, auringon läpäisykertoimet ikkunoissa ja U-arvot. [8.]

Sisäilmasto-olosuhteet sekä rakennuksen energiatalous ja sen laatu selviävät useimmiten jo suunnitteluvaiheessa. Rakennuksen sisäilmastoa voidaan rakennuksen valmistuttua arvioida mittauksilla, mutta suunnitteilla olevan kohteen ainoa keino tuloksen arvioinnissa on sisäilmaolosuhteiden selvittäminen laskemalla. Nykyään on mahdollista jo suunnitteluvaiheessa valita ratkaisuja, joilla tiedetään päästävän hyvään lopputulokseen. Enää suunnittelussa ei olla riippuvaisia suunnitteluohjeista ja perimätiedosta. Tällä tavoin voidaan kehittää täysin uusia ratkaisuja ja valita vain lopputuloksen kannalta ne parhaat. Sisäilmaston olosuhdelaskennan lisäksi mallintaminen ja simulointi ovat hyödyksi myös energiankulutuksen tarkemmassa laskennassa. Kunnollisella energialaskennalla saadaan myös selvitettyä sisäolosuhteet, pintojen lämpötilat, operatiiviset lämpötilat sekä sisäilman hiilidioksidipitoisuudet ja suhteelliset kosteudet. [9.]

TUTKIMUKSEN MENETELMÄT

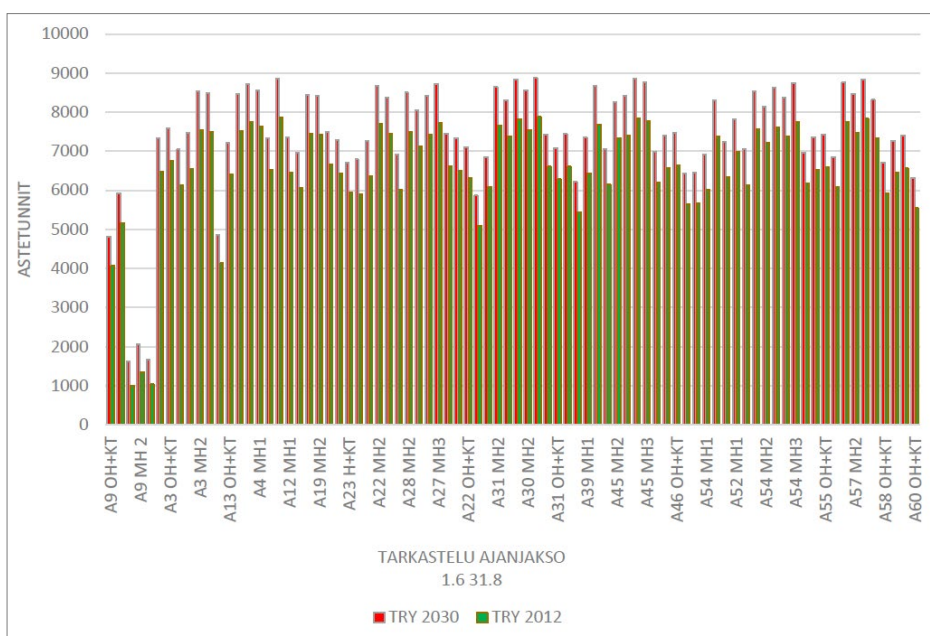
Artikkelin pohjana olevassa opinnäytetyössä pystyttiin simulaatioiden avulla selvittämään niin rakennuksen sisäilmasto-olosuhteet, yllämpenemisen asetetunnit kuin myös mahdollisesti tarvittavat jäähdytystarpeet. Simulaatio on hyvä apuväline ja keino vertailla erilaisia passiivisia ratkaisuja ja niiden vaikutusta yllämpenemiseen.

Ensimmäisenä vaiheena työssä rakennettiin kohteena olevasta rakennuksesta tietomalli. Tietomallin rakennuksessa käytettiin Autodesk MagiRoom -ohjelmistoa sen käytettävyyden ja hyvän toiminnallisuuden vuoksi kolmansien osapuolien kanssa. Rakennuksen mallin valmistuttua otettiin kohderakennuksesta IFC-malli, joka siirrettiin IDA ICE -ohjelmistoon

tarvittavia simulaatioita varten. IDA ICE -ohjelmistossa luotiin tietomallin sisälle vyöhykeitä, joihin olosuhdesimulaatiot tehtiin. Projektista luotiin eri laskentatapauksia siten, että yksi laskentatapaus käytti testivuotta 2012 säätiedostonaan ja toinen laskentatapaus käytti tulevaisuuden testivuotta 2030.

OLOSUHDESIMULOINTIEN TULOKSET

Simulaatiossa, jossa selvitettiin eroa jäähdytysastetuntisummassa säätiedostojen 2012 ja 2030 välillä, käytettiin YMa 1010 -asetuksen mukaisia rakenteita ja kuormituksia. Simulaatio suoritettiin kerralla kaikille asuinkerrostalon huoneille ja tiloille samanaikaisesti. Simulaatiosta muodostettiin yllämpötarkastelu pylväskaavion avulla ajanjaksolle 1.6.–31.8. (kuva 2).



Kuva 2. Yllämpenemisastetuntisummat huonekohtaisesti säädatojen kesken

Punaisilla palkeilla näkyy TRY2030-säätiedostolla simuloidut yllämpöastetunnit huoneittain koko asuinkerrostalosta ja vihreällä palkilla TRY2012-säätiedostolla simuloidut vastaavat tilat. Keskimäärin yllämpöastetunneissa tuli eroa säätiedostojen välillä 896 astetuntia. Huonekohtaisia eroja astetunneissa oli jopa yli 1000 astetuntia.

Tuloksissa TRY2012:n ja TRY2030:n välillä huomattiin, että vaikka yllämpenemisastetunneissa olevat erot näiden kahden säätiedoston välillä olivat suuret, on huomattavaa, että vyöhykkeiden operatiivisissa lämpötiloissa ei ollut havaittavissa suurtakaan eroa. Keskiar-

vollisesti huoneet olivat 0,5 °C astetta lämpimämpiä käyttämällä TRY2030-säätiedostoa. Huonekohtaiset erot olivat suurimmillaan noin yhden celsiusasteen verran. Tulevaisuudessa hellejaksot eivät ole niinkään kuumempia kuin nykyään, vaan hellejaksot ovat huomattavasti pidempikestoisempia, mikä voimistaa ylikämpenemisen riskiä voimakkaasti.

Lopputuloksista voidaan päätellä, että nykyisellään ylikämpötarkastelu ei anna todellista kuvaa rakennuksen ylikämpöastetunneista. Ilmastomuutos tuo meille aikaisemman kevään ja pidemmän kesän, mikä vaikuttaa rakennuksien sisälämpötilojen nousuun kesäaikana merkittävästi. Tuloksissa testivuoden 2012 säätiedostolla saadut tulokset vastasivat aiemmin saatuja tuloksia, joten tuloksia voidaan pitää niiltä osin luotettavina.

JATKOTUTKIMUKSILLE ON TARVETTA

Tuloksista voidaan päätellä, että nykyinen ylikämpötarkastelu ei anna todellista kuvaa rakennuksen ylikämpöastetunneista. Ilmastomuutos tuo meille aikaisemman kevään ja pidemmän kesän, mikä vaikuttaa rakennuksien sisälämpötilojen nousuun kesäaikana merkittävästi. Lopputuloksien vertailusta käy ilmi, että kyseessä on aihe, jota tulee tarkastella tarkemmin ja ehdottomasti huomioida tulevaisuuden suunnittelussa.

Tämä kaikki on johdannaista meidän vanhasta ja totutusta tavastamme suorittaa ylikämpötarkastelut ja toteuttaa sisäilmastosuunnittelu rakennuksissa. Energialaskennoissa ja ylikämpötarkastelussa käytetään testivuoden 2012 säätiedostoa, joka kuvastaa keskiarvallisesti säää 10 vuotta taaksepäin tuosta hetkestä. Meillä on kuitenkin olemassa uusia tulevaisuuteen perustuvia säätiedostoja, jotka pohjautuvat niihin hellekesiin, joita meillä on jo viime vuosina ollut. Tästä syystä sisäilmaston suunnittelua olisi erittäin ajankohtaista päivittää nykyaikaisemmaksi ja vastaamaan tähän kasvavaan eikä enää niin piilevään ongelmaan.

On valitettavaa, että tänä päivänä meillä olisi keinot ja välineet tehdä asialle jotain ja vaikuttaa näihin asioihin jo suunnittelupöydällä, mutta näin ei vielä tehdä. Pahinta ei ole suinkaan se, että tarkastelu suoritetaan testivuoden 2012 säätiedostolla vaan se, että ylikämpenemiseen ei edes osata tai haluta varautua. Uusissa rakennuksissa olisi helppoa varustautua jo rakennusvaiheessa mahdolliseen jäähdytyksen tarpeeseen tulevaisuutta ajatellen esimerkiksi tekemällä putkivaraukset jäähdytyksille tai jo rakentamisen aikana suunnitteleamalla ja toteuttamalla erilaisia passiivisia keinoja ylikämmöltä suojautumiseen.

LÄHTEET

Opinnäytetyö Tulevaisuuden testisään vaikutus asuinkerrostalojen yllämpenemisessä

Jokinen, M. 2022. Euroopan tukala tulevaisuus. *Helsingin Sanomat. Verkkolehti. Julkaistu 20.08.2022. Saatavissa: <https://www.hs.fi/ulkomaat/art-2000009000277.html>* [viitattu 16.10.2022].

Ympäristöministeriö. Ympäristö- ja ilmastoministeri Emma Kari: ”Jokainen energiatehokkaaksi remontoitu rakennus on askel kohti Suomen energiaitsenäisyyttä”. WWW-dokumentti. Julkaistu 07.04.2022. Saatavissa: <https://ym.fi/-/ymparisto-ja-ilmastoministeri-emma-kari-jokainen-energiatehokkaaksi-remontoitu-rakennus-on-askel-kohti-suomen-energiaitsenaisyytta-> [viitattu 16.10.2022].

Ilmatieteen laitos. Ilmastomuutos. WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutoskysymyksiä> [viitattu 16.10.2022].

ACT state of the environment. Trees in the city. The importance on trees. WWW-dokumentti. 2021. Saatavissa: <https://www.environmentforyouth.com.au/3-trees-in-the-city/3-1-the-importance-of-trees/> [viitattu 16.09.2022].

Jylhä, K., Kalamees, T., Tietäväinen, H., Ruosteenoja, K., Jokisalo, J., Hyvönen, R., Ilomets, S., Saku, S. & Hutila, A. Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastomuutoksen vaikutuksista. Raportti No. 2011:6. Ilmatieteen laitos. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/app/uploads/2017/02/Selvityksiä53-3.pdf> [viitattu 16.10.2022].

Heikkonen, H. 2022. Asuntojen yllämpenemisestä voi tulla pysyvä ilmiö, ellei nyt toimita. *Rakennuslehti. Verkkolehti. Julkaistu 25.4.2022. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2022/04/asuntojen-ylilampenemisesta-voitulla-pysyva-ilmio-ellei-nyt-toimita/>* [viitattu 16.10.2022].

Merikari, A. 2020. Yllämpeneminen tulisi estää jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. *Sisäilmauutiset. Verkkolehti. Julkaistu 18.11.2020. Saatavissa: <https://www.sisailmauutiset.fi/rakentaminen-2/ylilampenementulisi-estaa-jo-rakennuksen-suunnitteluvaiheessa/>* [viitattu 16.10.2022].

Paakkari, J. 2021. Ajoissa tehty energia- ja olosuhdesimulointi auttaa päätöksenteossa. Vahanen. Blogi. Julkaistu 16.12.2022. Saatavissa: <https://blog.vahanen.com/ajossa-tehty-energia-ja-olosuhdesimulointiauttaa-paatoksenteossa> [viitattu 16.10.2022].

Kukkonen, E. Sisäolosuhteiden ja energiankulutuksen laskenta vaatii tiukkaa osaamista. 2015. *Sisäilmautiset. Verkkolehti. Julkaistu 18.12.2015. Saatavissa: <https://www.sisailmautiset.fi/henkilokuvassa/sisäolosuhteiden-ja-energiankulutuksen-laskenta-vaatii-tiukkaa-osaamista/>* [viitattu 16.10.2022].

RAKENNUKSEN VÄHÄHIILISYYDEN ARVIOINTIMENETELMÄ JA SEN TESTAAMINEN RAKENNUSHANKKEESSA

Ville Alho & Johanna Arola

Asiasanat: vähähiilisyys, ympäristövaikutukset, hiilijalanjälki, hiilikädenjälki, elinkaari, life cycle assessment

Rakentaminen Suomessa ja koko maailmassa tulee muuttumaan tulevien vuosien aikana merkittävästi. Kasvihuonekaasupäästöjen pienentäminen ilmaston lämpenemisen ehkäisemiseksi on erityisen tärkeässä roolissa. Rakentamisessa on panostettava kestävä kehityksen periaatteisiin, ympäristöystävällisiin energiamuotoihin ja vähähiilisiin vaihtoehtoihin päästöjen minimoimiseksi. Vähähiilisenä rakennuksena voidaan pitää tarpeenmukaisen ja oikeanlaisen suunnittelun, toteutuksen ja ylläpidon kestävä kehityksen vaihtoehtojen ja vuorovaikutusten kokonaisuutta. [1.] Rakentaminen on keskeisessä roolissa mietittäessä ratkaisua globaaliin ilmastonmuutokseen.

VÄHÄHIILINEN RAKENTAMINEN

Vähähiilinen rakentaminen tarkoittaa rakennuksen koko elinkaaren aikana syntyvien kasvihuonepäästöjen vähentämistä. Vähähiilisyyteen pyritään erilaisilla toimenpiteillä, kuten mm. energiatehokkuuden parantamisella, uusiutuvilla energiamuodoilla, teknisillä ja toiminnallisilla vaatimuksilla sekä vähähiilisiä ja kierrätettäviä materiaaleja käyttämällä. [2.]

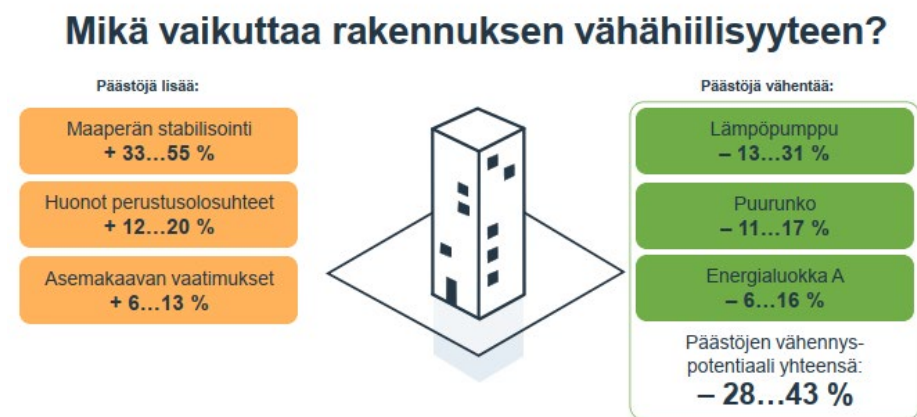
Kiertotalouden huomioiminen osana vähähiilistä rakentamista on keskeinen asia energiatehokkuuden ja tarpeenmukaisten tilaratkaisujen lisäksi. Kiertotalouden tarkoituksena on pyrkiä säilyttämään materiaalien ja resurssien arvo mahdollisimman pitkään palauttaen ne elinkaarensa lopussa kierrätykseen. Tämä tekee materiaalien käytöstä kestäväää. [3.]

Rakentamiseen käytetään vuodessa noin puolet maailman raaka-aineista sekä lisäksi rakennuksissa kulutetaan noin 40 % koko maailman primäärienergiasta. Rakennusten lämmitys- ja sähköenergia tuottaa siis jopa kolmanneksen koko maailman kasvihuonekaasupäästöistä.

Keskeinen osa tehokasta kiinteistön käyttöä on koko elinkaaren aikana sen käyttäjien palveleminen. Lisäksi kiinteistön ylläpidolla on erityisen suuri vaikutus koko kiinteistön energiatehokkuuteen ja elinkaareen. [1.]

KUINKA RAKENTAA VÄHÄHIILISESTI?

Vähähiilisyteen vaikuttavat rakennuksessa monet eri seikat. Kuvassa 1 on nostettu esiin keskeisiä päästöjä lisääviä asioita rakentamisessa ja keskeisiä päästöjä vähentäviä seikkoja. Energiakulutuksen ja energiamuodon sekä puun käytön määrä lisää päästöjen vähennys-potentiaalia. Kuitenkin maaperän stabilointi niillä alueilla, joissa maaperä on epävakaa, voi lisätä päästöjä jopa yli 50 % koko rakennuksen päästöistä. Olisikin erittäin tärkeää kiinnittää huomiota rakennuspaikan sijaintiin ja kaavoitukseen energiamuodon ja kulutuksen lisäksi. [4.]



Kuva 1. Rakennuksen vähähiilisyyteen vaikuttavat asiat ja niiden vaikuttavuus [4]

Yksi keskeisimmistä keinoista vähentää kiinteistöstä aiheutuvia päästöjä on vähentää rakennuksen käytön aikaista energiankulutusta. Keinoja rakennuksen energiatehokkuuden parantamiselle sekä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi rakennuksissa ovat muun muassa lämpöhäviöiden pienentäminen ja jäähdytystarpeen vähentäminen sekä älykäs rakennusautomaatiojärjestelmä [5].

Energiatehokkuuden näkökulmasta LVI-järjestelmillä voi olla jopa 15–36 % vaikutus koko kiinteistön sitoutuneeseen hiileen, sillä järjestelmissä käytetään paljon metalleja. Tämän vuoksi järjestelmien optimointi myös reitityksen ja oikean mitoituksen osalta on tärkeää. [6.]

LAINSÄÄDÄNNÖN UUSIUTUMINEN JA VÄHÄHIILISEN RAKENTAMISEN OHJAUS

Rakennuksen vähähiilisyyttä ohjaa lainsäädännöllisesti Suomessa ympäristöministeriö. Ympäristöministeriö on julkaissut vuonna 2017 tiekartan, jossa rakennusten elinkaaren vähähiilisyys tulee osaksi rakentamismääräyksiä vuonna 2024 [7]. Suomen vähähiilisen rakentamisen ohjeistus ja laskentatapa pohjautuvat Euroopan komission laatimaan Level(s)-menetelmään [8] sekä eurooppalaisiin kestävä kehityksen EN-standardeihin [9]. Lailla ja standardeilla on tarkoitus pienentää rakennuksen kasvihuonekaasupäästöjä sen elinkaaren aikana [9].

Ympäristöministeriö on tehnyt päätöksen rakennuksen ilmastoselvityksen laatimisesta säädettäväksi uuden Rakentamislain 196 §:n 4 momentin, 213 §:n 2 momentin ja 272 §:n 3 momentin nojalla. Kokonaisuuteen kuuluu vähähiilisyyden arvioinnin, hiilijalanjäljen, hiilikädenjäljen ja ilmastoselvityksen asetukset. Asetus on tällä hetkellä luonnosvaiheessa ja on tarkoitus julkaista osana rakentamislakiuudistusta vuoden 2024 loppuun mennessä. [10].

Rakennuksen vähähiilisyyden arviointi voidaan tehdä kaikille rakennuksille, ja sitä voidaan soveltaa moniin eri rakennusmuotoihin sekä uudis- ja korjausrakentamiseen. Arviointimenetelmässä huomioidaan koko rakennus, tontti sekä keskeiset osat taloteknisistä järjestelmistä. [9.] Vähähiilisyyden arviointi on tarkoitettu kattamaan koko rakennuksen elinkaari. Rakennuksen elinkaari lyhykäisyydessään on kuvattu kuvassa 2.



Kuva 2. Rakennuksen elinkaari [9]

MENETELMÄN TESTAUSTA KÄYTÄNNÖSSÄ

Tämän artikkelin pohjalla on opinnäytetyö, jossa rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmää tutkittiin käytännössä. Työssä tutkittava kohde käsitti Etelä-Savon Kampuskiinteistöjen rakennuttaman Teollisen puu- ja hybridirakentamisen ja teknisen testauksen laboratorion Savonlinnassa. Rakennuksen on tarkoitus toimia testaus-, tuotekehitys- ja tutkimuslaboratoriona. Laboratorion lisäksi kiinteistöä tullaan käyttämään Xamkin opiskelijoiden oppimisympäristönä.

Rakennuksen rungossa käytetään betoni-, puu- ja teräsrakenteita. Rakennuksen julkisivussa on pyritty hyödyntämään puuta mahdollisimman paljon. Rakennuksen lämmitysmuotona on kaukolämpö ja jäähdytysratkaisuna vedenjäähdytin. Ilmanvaihtokoneet on varustettu lämmöntalteenotolla ja tuloilman jäähdytyksellä. Toimisto-osan sisäilmasto on suunniteltu sisäilmastoluokkaan S1.

Rakennuksen vähähiilisyyden arviointi toteutettiin ennen hankkeen urakkalaskentaa suunnitelmien mukaisia materiaaleja noudattaen. Vähähiilisyyden arviointi on tehty pohjautuen 100-prosenttisesti digitaaliseen suunnitelma-aineistoon ja tietomalleihin. Laskenta tehtiin OneClickLCA-ohjelmaa käyttäen.

TUTKIMUKSEN TULOKSET

Laskennan tuloksia analysoitiin ilmastaselvityksessä vaaditulla tarkkuudella rakennuksen osalta. Rakennuspaikan hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki rajattiin laskennan ulkopuolelle. Taulukossa 1 on kuvattu hiilijalanjäljen laskennan tulokset ennen rakennuksen käyttöä, käytön aikana ja käytön jälkeen. Rakennuksen hiilijalanjäljeksi saatiin 16,29 kgCO₂e/hum²/a. Ympäristöministeriön tekemässä tutkimuksessa Carbon Footprint Limits for common building types on asetettu tuloksiin pohjautuen raja-arvoja rakennuksille. Rakennus, johon tulokset saatiin, kuuluu tutkimuksen luokkaan huoltorakennukset, jonka ehdotettu raja-arvo hiilijalanjäljelle on 14 kgCO₂e/hum²/a. [12.]

Taulukko 1. Kohderakennuksen hiilijalanjälkilaskennan tulokset

Osatekijät	Hiilijalanjälki	
	Rakennuksen hiilijalanjälki kgCO ₂ e/hum ² /a	Rakennuspaikan hiilijalanjälki kgCO ₂ e/rp-m ² /a
A. Ennen käyttöä	7,84	0
B. Käytön aikana	7,77	0
C. Käytön jälkeen	0,67	0
Hiilijalanjälki yhteensä A+B+C	16,29	0

Taulukossa 2 on kuvattu vastaavasti hiilikädenjäljen laskennalliset tulokset eri vaiheissa. Rakennuksen hiilikädenjäljen arvo arvioidaan erillisenä osa-alueena ilmastaselvityksessä. Hiilikädenjälki tarkoittaa ilmaston hyväksi tapahtuvaa kasvihuonekaasupäästöjen kompensointia. Rakennuksen hiilikädenjäljeksi saatiin -8,34 kgCO₂e/hum²/a.

Taulukko 2. Kohderakennuksen hiilikädenjälkilaskennan tulokset

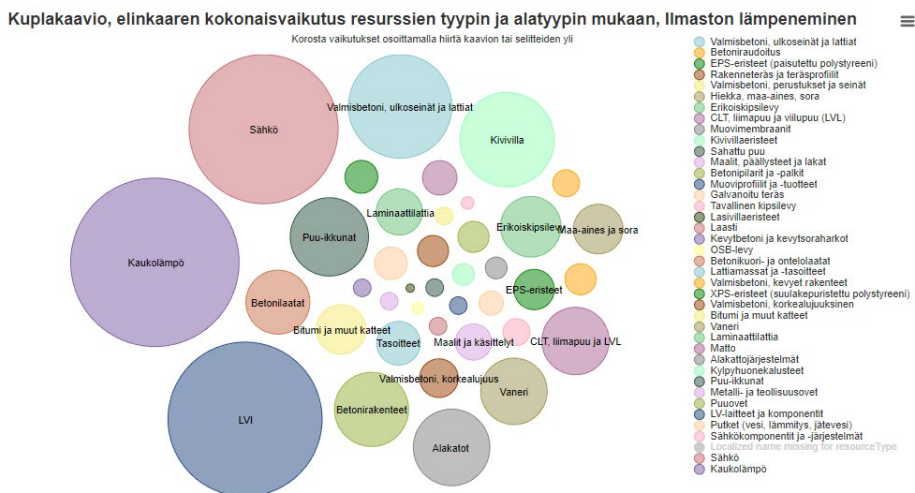
Osatekijät	Hiilikädenjälki	
	Rakennuksen hiilikädenjälki kgCO ₂ e/hum ² /a	Rakennuspaikan hiilikädenjälki kgCO ₂ e/rp-m ² /a
D1. Uudelleenkäyttö ja materiaali kierrätys	-4,47	0
D2. Hyödyntäminen energiana	0	0
D3. Ylimääräinen uusiutuva energia	0	0
D4. Hiilivarastovaikutus	-3,61	0
D5. Karbonatisoituminen	-0,26	0
Hiilikädenjälki yhteensä D1+D2+D3+D4+D5	-8,34	0

Tuloksissa energiankäytön osuus hiilijalanjäljestä oli 5,47 kg CO₂e/m²/a. Energiankäytön päästövaikutus on siis 34 % koko rakennuksen elinkaaren päästöistä. Vastaavasti tuotteiden valmistaminen ja rakentaminen kattaa 42 % rakennuksen elinkaaren päästöistä.

Lisäksi tuloksien analysointiin laskettiin koko elinkaaren päästövaikutus CO₂e-määritelyssä laajuudessa. Laskennalliselle elinkaaren ajalle (50 vuotta) rakennuksen päästöt ovat 1 937 tonnia CO₂e.

PÄÄSTÖIHIN KESKEISESTI VAIKUTTAVAT ASIAT JA NIIHIN VAIKUTTAMINEN

Päästölaskennan tuloksena suurimpia vaikutuksia rakennuksen elinkaaren päästöihin ovat energia, betoniset rakenteelliset ratkaisut sekä talotekniikka. Lisäksi kohteessa tehtävillä maatöillä on erityisen suuri vaikutus päästöihin. Kuvassa 3 on havaittavissa eri resurssien vaikutus elinkaaren päästöihin. Kaaviossa keskeisimpinä päästölähteinä ovat sähkö, kaukolämpö, betoni ja LVI:n osuus.



Kuva 3. Elinkaaren kokonaisvaikutus resurssityypeittäin ja alatyypin mukaan

Tuloksissa LVI-järjestelmien päästöt olivat kokonaiskuvassa hyvinkin yllättävät. LVI-järjestelmien päästöt aiheutuvat metallien ja muiden komponenttien valmistamisesta sekä kylmälaitteiden kylmäaineiden mahdollisista ilmastovaikutuksista. Erityistä huomiota on kiinnitettävä talotekniikkasuunnittelun tarpeenmukaisuuteen ja tekniikan osalta pyrkii lisäämään kierrätettyjen materiaalien käyttöä. Rakenteellisesti materiaalien käyttöön ja kiertotalouden mahdollistamiseen on panostettu viime vuosina paljonkin, mutta tekniikka vaikuttaisi olevan erityisen suuri päästökijä, johon eri laitevalmistajien, toimittajien ja suunnittelijoiden tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota energiankulutuksen lisäksi.

Tutkimustuloksiin pohjautuen rakennuksen vähähiilisyyden parantamiseen on monia keinoja. Etenkin kiinteistöön uusiutuvilla energiamuodoilla, esim. maalämmöllä ja päästöttömällä sähköllä, voidaan vaikuttaa hyvin helposti hiilijalanjäljen suuruuteen. Suurimpien yksittäisten päästölähteiden vähentäminen onnistuu rakennuskannassa hyvin yksinkertaisesti esimerkiksi korvaamalla betoni kierrätetyllä kiviaineksella tai materiaalin korvaaminen puulla.

HYVÄLLÄ SUUNNITTELULLA SAAVUTETAAN VÄHÄHIILISYYS JA KUSTANNUSTEHOKKUUS

Vähähiilisen rakennuksen toteutus ei välttämättä ole kalliimpaa kuin perinteisen kiinteistön toteuttaminen. Materiaalien täsmällinen käyttö, kiertotalouden huomioiminen sekä tarkka suunnitteluratkaisu hankesuunnitteluvaiheessa ja toteutusvaiheessa voivat säästää niin aikaa, kustannuksia kuin resursseja huonosti suunniteltuun kokonaisuuteen verrattuna. Etenkin hankesuunnittelussa tulisi luoda perusta asiantuntijatyölle tavoitteiden määrittämiseksi

ja vähähiilisyiden saavuttamiseksi, jolloin myöhemmässä vaiheessa koko suunnitteluorganisaatio voi budjetin sallimissa rajoissa tuottaa vähähiilisiä ratkaisuja.

Laskennan vakiintumisella ja kokonaisuudet huomioivalla päästölaskennalla sekä kiertotalouden huomioimisella on merkittäviä ympäristövaikutuksia, sillä rakentamisen päästöt kokonaispäästöistä Suomessa ovat jopa 30 %. Laskennalla voidaan todentaa päästöjen määrät ja tehdä ilmastovaikutusten arviointi. Lisäksi oikein ajoitetulla laskennalla voidaan päästä suuriinkin päästövähennyksiin ja tukea monien kiinteistöomistajien ja yritysten päästöpolitiikkaa ja tavoitteita kohti hiilineutraaliuutta. Päästöt on aina arvioitava koko rakennuksen elinkaaren ajalle, mutta käytönaikaisten päästöjen muodostumiseen ei ole tällä hetkellä ohjeistusta. Rakentaminen tarvitsee päästöt huomioivaa asiantuntijuutta Suomessa, jotta päästötavoitteisiin päästään niin globaalisti kuin valtakunnallisestikin.

LÄHTEET

Opinnäytetyö Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä ja sen testaaminen

Häkkinen, T., Kuittinen, M. & Suomela, M. Kohti vähähiilistä rakentamista: opas arviointiin ja suunnitteluun. Helsinki: Rakennustieto Oy. E-kirja. 2020. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/Record/kaakkuri.226588> [viitattu 9.10.2021].

Kuittinen, M. & le Roux, S. Vähähiilisen rakentamisen hankintakriteerit. Ympäristöministeriön julkaisuja 2017: Helsinki. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://kaakkuri.finna.fi/Record/valto.10024_80654 [viitattu 12.2.2022].

Huttunen, E. Kiertotalous rakennetussa ympäristössä. Helsinki: Rakennustieto Oy. E-kirja. 2021. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/Record/kaakkuri.227458> [viitattu 10.10.2021].

Kuittinen, M. Vähähiilisyys, kiertotalous ja uudet rakennusmääräykset. Power point -esitys. XAMK. 2021. PDF-dokumentti. [viitattu 1.7.2022]

Rakennusteollisuus RT. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035. Osa 4 Rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön vähähiilisyyden tiekartta 2020-2035-2050. Gaia Consulting Oy. RT-julkaisu 2020. Saatavissa: RT-rakennusteollisuus [viitattu 8.7.2022].

Kiamili C., Hollberg A. & Habert, G. Detailed assessment of Embodied Carbon of HVAC Systems for a New Office Building Based on BIM. MDPI, Bazel, Switzerland 2020. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/8/3372> [viitattu 11.6.2022].

Kuittinen, M. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Helsinki: Ympäristöministeriö. E-kirja. 2019. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/Record/kaakkuri.223611> [viitattu 9.10.2021].

Euroopan komissio. Level(s) - European framework for sustainable buildings. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://ec.europa.eu/environment/topics/circular-economy/levels_en [viitattu 19.5.2022].

Ympäristöministeriö. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2021, luonnos lausuntokierrosta varten. Helsinki: Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. 2021. Saatavissa: <https://ym.fi/-/rakennusten-vahahiilisyyden-arviointimenetelma-koetaan-paaosin-selkeaksi-ja-kattavaksi-lausuntoyhteenvedo-ja-lausunnot-julkaistu> [viitattu 2.3.2022].

Ympäristöministeriö. Luonnos Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmast selvityksestä. Helsinki: Ympäristöministeriö. 2021. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=0b297461-cdee-4657-9a4e-d2791315257d> [viitattu 12.4.2022].

WordsSideKick maapallo. Uusi tutkimus seuraa hiilen sosiaalisia kustannuksia. WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: <http://fi.wordssidekick.com/new-study-tracks-social-cost-of-carbon-23313> [viitattu 1.7.2022].

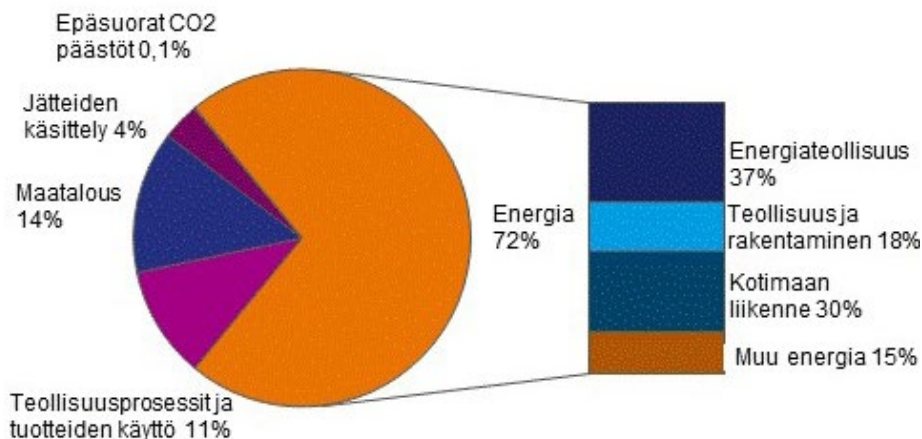
Ministry of Environment, Finland. Carbon Footprint Limits for Common Building Types. Bionova Ltd. PDF-dokumentti. 2021. Saatavissa: <https://www.oneclicklca.com/fi/carbon-footprint-limits-for-buildings-finland/> [viitattu 17.6.2022].

KATETUN TEKIJÄÄRADAN HIILIJALANJÄLJEN VERTAILU

Sami Muukkonen & Mika Kuusela

Asiasanat: hiilijalanjälki, tekojäärata, ilmastonmuutos, vähähiilisyys

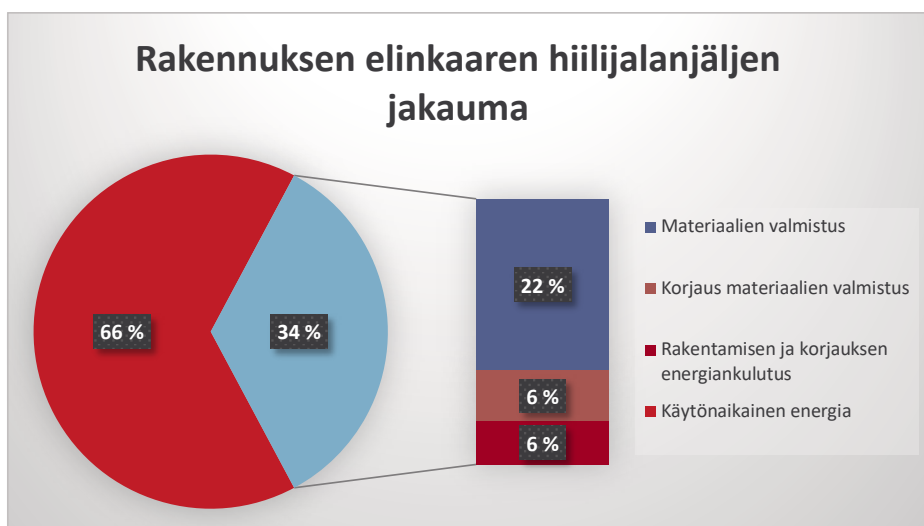
Ilmastonmuutos on globaali haaste, jota pyritään hillitsemään maiden välisillä sopimuksilla ja säädöksillä. Näiden pyrkimys on hidastaa ilmastonlämpenemistä ja luoda tasa-arvoinen lähtötilanne kaikille. Esimerkkinä sopimuksista toimii Pariisin ilmastopöytäkirja. Kyseisessä sopimuksessa Euroopan maat sitoutuivat rajoittamaan ilmaston lämpenemisen alle 2° C:n ja tavoittelemaan sen pitämistä alle 1,5° C:ssa. Tämän lisäksi siinä asetettiin tavoitteeksi vähentää Euroopan unionin päästöt vuoteen 2030 mennessä 40 % pienemmiksi verrattaessa vuoteen 1990. Työn teon aikainen Suomen hallitus asetti Suomelle omaksi tavoitteeksi pyrkiä hiilineutraaliuteen vuoteen 2035 mennessä sekä pian sen jälkeen hiilinegatiiviseksi. Keinoina tavoitteen saavuttamiseksi toimii pyrkimys pienentää asumisen ja rakentamisen hiilijalanjälkeä.



Kuva 1. Vuoden 2020 kokonaispäästöjen jakauma /1/

Kuvassa 1 on esitetty vuoden 2020 kokonaispäästöjakauma. Kuvasta voidaan havainnoida, että energiantuotanto on suurin päästöjen aiheuttaja. Rakennusten ja rakentamisen suurin päästövaikutus aiheutuu myös energiankulutuksesta. Tämän vuoksi pyrkimällä fossiilivaapaaseen energiantuotantoon voidaan vähentää huomattavasti ympäristökuormitusta.

Hillitäkseen ilmastonlämpenemistä rakentamisen sektorilla on huomio alkanut kiinnittyä hiilijalanjälkeen. Hiilijalanjälki tarkoittaa ilmastokuormaa, joka pystytään rajaamaan kokonaisuudeksi. Rakennuksia käsitellessä voidaan käyttää esimerkkinä 50 vuoden ajanjaksoa. Näin saadaan käsiteltyä rakennus kehdosta hautaan ajatuksena. Tämä käsittää silloin rakennusmateriaalien, rakentamisen, käytön sekä purkamisen ja jätteiden kierrättämisen. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeä tutkimalla pystytään suorittamaan vertailuja ja löytämään keinoja vähentää rakentamisen ympäristökuormitusta. Elinkaaren hiilijalanjäljen vertailun yhtenäistämiseksi sekä todentamiseksi on luotu EPD-kortit eli ympäristöselostekorttijärjestelmä.



Kuva 2. Arvioitu kerrostalon elinkaaren hiilijalanjäljen jakauma /2/

Kuvassa 2 on esitetty arvio kerrostalon hiilijalanjäljen jakaumasta. Esimerkkirakennus on 50 vuoden ajanjaksolle, mutta siinä ei ole huomioitu purkamisen hyötyjä tai haittoja. Esimerkistä saadaan kuva siitä, miten rakennuksen päästöt jakautuvat eri vaiheille.

Kestävä kehitys ja kiertotalous huomioidaan rakentamisen pyrkimyksissä ekologisempaan suuntaan. Kestävän kehityksen tavoitteena on pyrkiä täyttämään tämän päivän tarpeet vaarantamatta tulevaisuuden sukupolvilta heidän mahdollisuuksiansa. Rakentamisessa tämä näkyy kestävästä ja vähähiilisenä rakentamisena. Kiertotalouden tavoitteena on pyrkiä muut-

tamaan perinteistä lineaarista ota-valmista-käytä-hävitä-mallia ympäristöystävällisempään suuntaan. Kiertotalouden mallissa prosessi on enemmän ympyrämainen ja lähes suljettu. Sen tavoitteena on pitää tuote mahdollisimman pitkään mukana kierrossa korjausten sekä kierrättämisen avulla. Kierrättämisen hyödyt ovat huomattavat, mutta toimiakseen se tulisi huomioida uudisrakentamisessa jo suunnitteluvaiheessa.

Työssä vertaillaan katetun tekojääareenan teknisten- ja rakenneratkaisuiden vaikutusta rakennuksen ympäristöpäästöihin ja elinkaaren hiilijalanjälkeen. Rakenneratkaisuissa keskitytään vertaamaan puu- ja teräsrakennetta keskenään. Teknisten ratkaisuiden vertailussa keskitytään kylmäntuotannon ohjaustapoihin. Vertailtavat ohjaustavat ovat kylmäntuotto mahdollisimman energiatehokkaasti tai kylmäntuotto lauhdelämmön määrä pääpainona. Vertailuiden tavoitteena on osoittaa, minkälainen ja kuinka suuri vaikutus ratkaisuilla on kohteen elinkaareen. Tulosten avulla on tarkoitus saada käsitys siitä, mihin keskittää huomiota suunnittelussa pyrkiessä ekologiseen ja hiilijalanjäljeltä pieneen kokonaisuuteen.

Vertailussa käytettävät rakennemateriaalien määrät ovat saatu esimerkkikohteen hankesuunnitelmista. Esimerkkikohde on katettu tekojäärata, jonka pinta-ala on noin 14000 m². Hankesuunnitelmat ovat tehty teräsrakenteisena. Näiden tyyppien ja määrien avulla on arvioitu vastaavat puurakenteet, joita käytetään laskelmissa. Kohteesta laaditaan Ida ice -simulaatio energiantarpeita varten. Arvio lauhdelämmön määrästä on saatu yrityksen sisäisen Excel-taulukon avulla. Työssä on määritetty muuttumattomiksi lähtötiedoiksi esimerkiksi ilmanvaihtoratkaisu, lämmitysratkaisu ja käyttövedenkulutus. Tämän lisäksi maatöitä sekä pihatöitä ei huomioida laskelmissa.

Työn vertailut suoritetaan One Click LCA -elinkaarilaskentatyökalulla. Laskentatyökalulla saadaan selville elinkaaren hiilijalanjälki ja ympäristöpäästöt. Elinkaaren hiilijalanjäljen yksikkönä on tonnia hiilidioksidiekvivalentti (t CO₂e), joka on kasvihuonekaasujen yhteenlaskettu ilmastoa lämmittävä vaikutus. Laskelmista saadaan hiilen sosiaaliset kustannukset. Tämä on arvio kustannuksista, jonka yksi tonni kasvihuonepäästöjä ilmakehässä aiheuttaa. Työssä on käytetty 50 €/ t CO₂e. Laskentatyökalu täyttää standardien vaatimukset, ympäristöministeriön rakennuksen hiilijalanjäljen arviointimenetelmän sekä GBFC-rakennusten elinkaarimittarit. Ohjelma käyttää laskelmissa EPD-kortteja. Laskenta huomioi energiantuotannossa vuosittaisen päästöaleneman rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän mukaisesti.

Laskelmissa käytetään elinkaaren pituutena 50 vuotta. Vertailuiden laskelmat suoritetaan neljän eri tilanteen avulla. Perustilanteena toimii (VE1) puurunko ja kylmäntuotanto -yhdistelmä. Lähtötilanteeseen verrataan puurunko+kylmä- (VE2), teräsrunko+lauhde- (VE3) ja puurunko+lauhde- (VE4) yhdistelmiä. Rataputkiston vertailussa verrataan suoran ja välillisen jäähdytyksen vaikutusta talotekniikan päästöjen kokonaisuuteen.

Taulukko 1. Hiilijalanjälkilaskelmien tuloksia

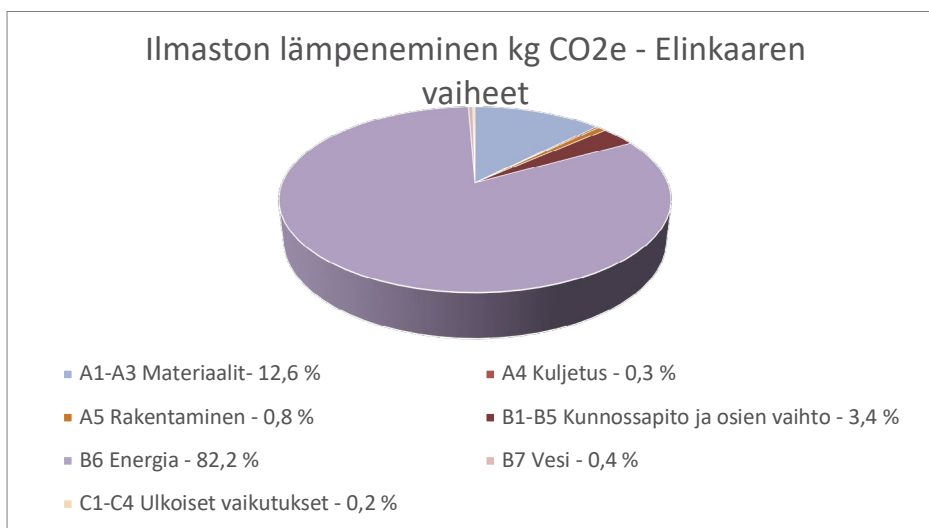
	Kok. päästöt	Kok.päästöt/elinkaari/ Pinta-ala	Sosiaaliset kustannukset
VE1	32100 tCO ₂ e	38,61 kg CO ₂ e/m ² /a	1 605 023 €
VE2	31697 tCO ₂ e	38,13 kg CO ₂ e/m ² /a	1 584 857 €
VE3	21402 tCO ₂ e	25,74 kg CO ₂ e/m ² /a	1 070 113 €
VE4	20999 tCO ₂ e	25,26 kg CO ₂ e/m ² /a	1 049 947 €

Vertailtavien vaihtoehtojen hiilijalanjälkilaskelmien tulokset on esitetty taulukossa 1. Taulukosta käy ilmi vaihtoehtojen kokonaispäästöt valitulla elinkaarella. Tämän lisäksi taulukossa on esitetty kokonaispäästöt jaettuna arviointikaudella ja bruttosisäpinta-alalla sekä sosiaaliset kustannukset. Energiankulutuksen osuus päästöistä on vaihtoehtoisissa 73–82 % välillä.

Taulukko 2. Elinkaaren ilmastopäästöjen muutokset

	Elinkaaren päästöt t CO ₂ e	Ero lähtötilanteeseen t CO ₂ e	Prosentuaalinen vähennys
Teräs+kylmä	32100		
Puu+kylmä	31697	403	-1,3 %
Teräs+lauhde	21402	10698	-33,3 %
Puu+lauhde	20999	11101	-34,6 %

Taulukossa on esitetty päästömuutokset tarkemmin. Tästä nähdään, minkälainen vaikutus milläkin yhdistelmällä on kokonaisuuteen. Taulukosta voidaan huomioda, että rakennemuutoksella ei ole juurikaan suurta vaikutusta verrattuna kylmäntuoton ohjaustavan eroavaisuuksiin.



Kuva 3. Vaihtoehdon 1 päästöjen osuudet elinkaaren vaiheittain

Kuvassa 3 on esitetty vaihtoehdon 1 päästöjen jakaumat eri elinkaaren vaiheille. Diagrammin osuuksista saadaan suuntaa siitä, miten päästöt jakautuvat. Kaikissa vaihtoehdoissa energianosuus päästöistä oli 82–73 % välillä. Diagrammista voidaan tehdä huomio, että esimerkikohteen laskelmissa materiaalien osuus on varsin vähäinen verrattuna energianosuuteen.

Työn tuloksien perusteella voidaan todeta, että pyrkiessä vähäpäästöiseen lopputulokseen tulee suunnittelussa sekä rakentamisessa keskittyä energiatehokkuuteen. Työn esimerkikohteen kaikissa vaihtoehdoissa vähintään 73 % päästöistä aiheutuu energiankulutuksesta. Tällä hetkellä materiaalien vaikutus on varsin vähäinen katsottaessa kokonaisuutta. Materiaalien valintaa ei kuitenkaan kannata unohtaa, koska sähkön- ja lämmöntuotanto on siirtymässä koko ajan vähäpäästöisempään suuntaan. Mitä lähemmäs hiilineutraalia energiantuotantoa päästään, sitä enemmän materiaalien osuus alkaa korostua. Materiaalien valinnan oleellisuutta korostaa myös kehittyvä kierrätysteknologia.

LÄHTEET

Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut ISSN=1797-6049. Tilastokeskus. WWW-dokumentti. 2020. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/khki/2020/khki_2020_2021-06-03_tie_001_fi.html [viitattu 12.7.2021].

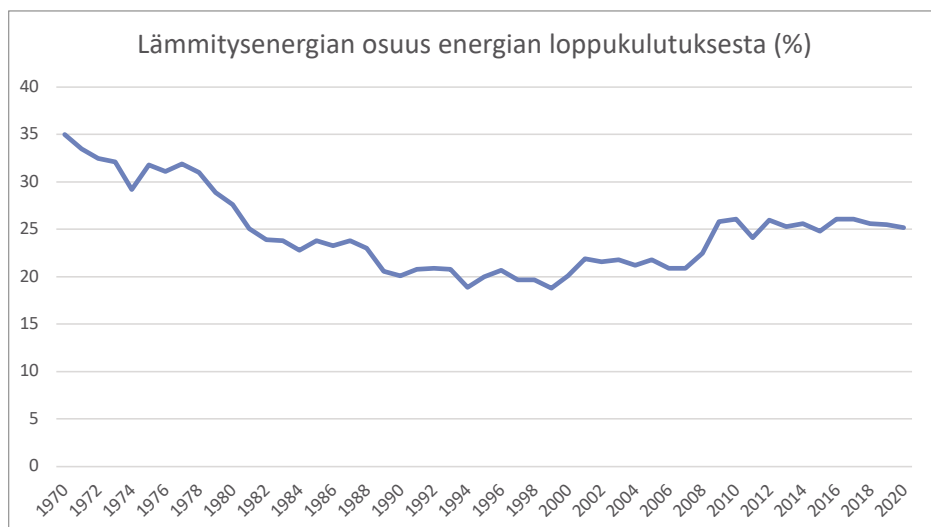
Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja. PDF-dokumentti. 2013. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B1FA-F46B2-2649-41ED-B3AA-5EA789C9512F%7D/37571> [viitattu 5.11.2020].

OMAKOTITALOJEN ENERGIA- TODISTUKSIEN VERTAILU

Jouni Tissari & Mika Kuusela

Asiasanat: Energiatodistus, laskennallinen energiankulutus, todellinen energiankulutus, rakennusosa, E-luku.

Suomessa on tällä hetkellä noin 1 057 200 omakotitaloa. Tämä tarkoittaa sitä, että noin 40 % suomalaisista asuu omakotitaloissa. Omakoti- ja paritaloissa kuluu ostoenergiaa yhteensä noin 32 TWh. (SVT s.a.) Näin ollen rakennukset aiheuttavat merkittävän osan Suomen hiilidioksidipäästöistä. Tilastokeskuksen mukaan rakennusten lämmityksen osuus koko energian loppukulutuksesta on vuoden 1970 alussa ollut 35 %. Matalimmillaan se on ollut 1990-luvulla, noin 20 %, ja viime vuosikymmenellä noin 25 % (kuva 1). (SVT s.a.)



Kuva 1. Osuudet energian loppukäytöstä / %, vuodesta 1970 vuoteen 2020 (SVT s.a)

Energiatodistus on ollut Suomessa käytössä uudisrakentamisessa vuodesta 2008. Pientaloissa on pitänyt esittää energiatodistus myynti- ja vuokraustilanteessa vuodesta 2009 lähtien. Omakotitalokiinteistöjä myydään vuodessa noin 17700 kappaletta (Savolainen

2021). Energiatodistus on hyvä työkalu rakennusten energiatehokkuuden vertailuun ja parantamiseen myynti- ja vuokraustilanteessa. Energiatodistuksessa energiatehokkuuden luokittelu perustuu rakennuksen laskennalliseen energiatehokkuuden vertailulukuun eli E-lukuun. E-luku perustuu rakennuksen eri tietoihin. Näitä ovat rakennusosien ominaisuudet, rakennuksen tekniset järjestelmät, käyttötarkoitus ja kaikki rakennuksessa tapahtuva energiankulutus. E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vakioituun käyttöön perustuva vuotuinen laskennallinen ostoenergiankulutus lämmitettyä nettoalaa kohden. (Vuolle, Airaksinen & Sankelo 2018.)

TAVOITE

Energiatodistuksia tehtäessä toistuu usein rakennuksen omistajalta kysymys: minkä vuoksi laskennallinen energiankulutus eroaa niin paljon todellisesta energiankulutuksesta? Myös itseäni on alkanut kiinnostaa, miten lähellä laskennallinen ja todellinen kulutukseen perustuva energiankulutus ovat toisiaan. Nämä olivat kysymyksiä, joihin lähdettiin hakemaan vastausta, kun tätä opinnäytetyötä mietittiin ja tehtiin. Opinnäytetyössä oli tavoitteena selvittää edellä mainitun kysymyksen lisäksi eri vuosikymmenten omakotitalojen laskennallinen E-luku ja todelliseen energiankulutukseen perustuva vertailuluku sekä se, miten tiukentuneet energiamääräykset ovat vaikuttaneet rakennusten energian kulutukseen ja E-lukuun. Myös energian häviöt eri rakennusosien kautta sekä vertailu laskennallisten ja todellisiin kulutuksiin perustuvien energiankulutuksien kanssa asetettiin tavoitteeksi. Tavoitteena oli saada tietoa myös eri ikäkausien rakennusten tiiviystä, nettopinta-aloista sekä ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmistä. Opinnäytetyötä tehtäessä ajateltiin myös sen hyötyä suunnittelijoille, jotka tekevät vanhojen rakennusten korjaussuunnitelmia sekä rakennustarkastajille, jotka tarkastavat tehtyjä suunnitelmia ja myöntävät mahdollisesti lupia niiden perusteella.

MENETELMÄT

Tutkimuksen aineistona oli n. 1100 kappaletta vanhoista omakotitaloista vuosina 2013–2018 laadittuja energiatodistuksia. Tutkimukseen näistä valittiin 738 kappaletta. Aineistossa olevat energiatodistukset on tehty huomioiden rakennuksessa paikan päällä tehdyt havainnot. Rakennuksien laajuustiedot on joko otettu rakennuksen asiakirjoista tai mitattu paikan päällä. Energiatodistuksien teon yhteydessä on myös todennettu tehdyt lisälämmöneristykset, rakennusosien vaihdot ja talotekniikan uusimiset. Tästä johtuen energiatodistukset ovat antaneet rakennuksesta todellisen tarkastuspäivän tiedon eikä rakennuslupavaiheen tietoa.

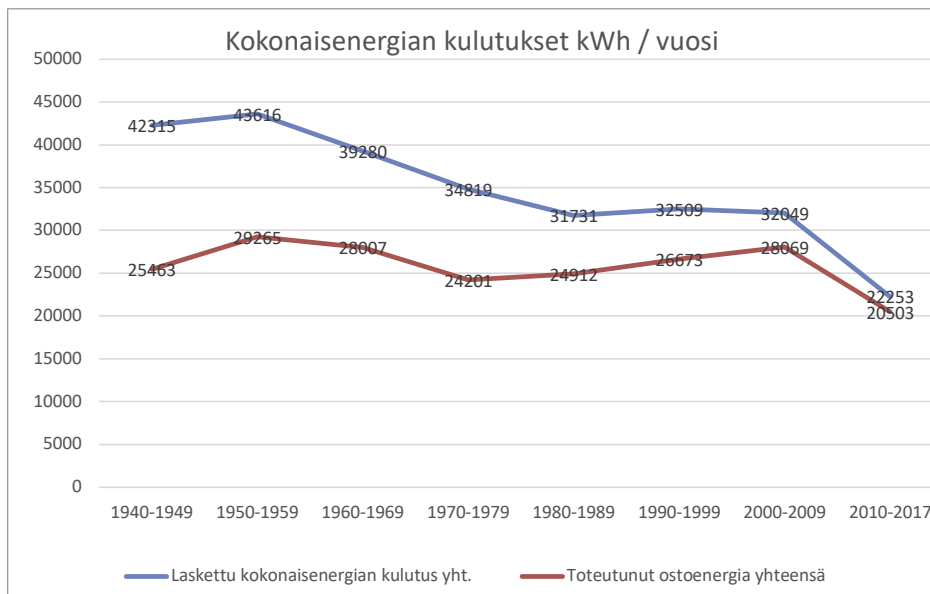
Tutkimusaineiston analysointia varten energiatodistuksista muodostettiin Excel-taulukoon tietokanta. Taulukkoon syötettiin seuraavat arvot: rakennuksen valmistumisvuosi, lämmitetty nettopinta-ala, laskennallinen E-luku, laskettu ostoenergiankulutus kWh/vuosi, lämmitysmuoto, ilmanvaihtojärjestelmä, ilmavuotoluku (laskettu tai mitattu), eri

rakennusosien kautta kuluva energia / %, eri rakennusosien pinta-alat, toteutunut ostoenergiankulutus kWh/vuosi, rakennustunnus ja energiatodistuksen laatimisvuosi.

Tietokannan arvoista laskettiin laskennallinen energiankulutus, josta oli energiamuotojen kertoimet poistettu, sekä toteutunut energiankulutus. Edellä mainitut arvot jaettiin rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla ja näin saatiin keskenään vertailukelpoiset vertailuluvut. Lisäksi laskettiin toteutuneen ostoenergian kulutuksen kautta eri rakennusosien kautta osuus lämpöhäviöistä.

TULOKSET

Kuvasta 2 näkyy, kuinka laskennallinen ja toteutunut energiankulutus kulkevat suurin piirtein samaa rataa koko ajan. Käyrät lähenevät toisiaan joka vuosi ja saavuttavat lähes saman pisteen 2010-luvulla. Nettopinta-ala on suurentunut 1980-luvulta eteenpäin, mikä näkyy käyrissä suurentuneena energiankulutuksena. 2010-luvulla näkyy selvästi, kuinka nettopinta-alan pienentyminen ja samalla energiamäärysten kiristyminen on vaikuttanut energiankulutusta pienentävästi. Samaan aikaan on ilmanvaihtojärjestelmien lämmöntalteenoton hyötysuhde parantunut ja pumpputekniikka yleistynyt lämmitysjärjestelmissä. Edellä mainitut asiat vaikuttavat myös suoraan kokonaisenergiankulutukseen sitä pienentävästi. On huomioitavaa, että aineistossa olevissa rakennuksissa on paljon peruskorjattuja rakennuksia. Peruskorjatut rakennukset ovat pääosin vanhempaa rakennuskantaa. Kuvassa 2 näkyvä vanhempien talojen ero lasketussa ja toteutuneessa energiankulutuksessa selittyyne osittain tällä.



Kuva 2. Omakotitalojen laskennallisten ja toteutuneiden kokonaisenergiankulutuksien muutos vuosina 1940–2017

JOHTOPÄÄTÖKSET

Rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen vaikuttaa hyvin moni asia. Esimerkiksi noin 40–55 % koko rakennuksen energiamäärästä häviää lämpöhukkana eri rakennusosien lisäksi ilmanvaihdon, sähkölaitteiden ja viemärin kautta. Eri rakennusosien kautta kulkeutuvaan energiamäärään vaikuttaa lämmönläpäisykertoimen lisäksi rakennusosan pinta-ala suhteessa koko vaipan pinta-alaan.

Energiamääräysten kiristyminen näkyi pienellä viiveellä energiatodistuksissa. Tilastollisesti toteutunut energiankulutus on laskenut nettopinta-alaa kohden vuosien 1940–2017 aikana keskimäärin ainoastaan 4 %, vaikka laskennallinen energiankulutus on pienentynyt samaan aikaan yli 30 %. Tämä johtuu todennäköisesti rakennuksiin tehdyistä energiankulutusta vähentävistä toimenpiteistä sekä rakennusten asukasmääristä. Vanhempien rakennusten energiatehokkuutta on vuosien saatossa parannettu jopa useampaan otteeseen. Lisäksi käytösähkön käyttö on lisääntynyt, koska sähkölaitteita on tullut lisää ja taloihin on asennettu mm. viilennysratkaisuja, jotka kuluttavat energiaa. Laskennallisen energiankulutuksen pudotus on tapahtunut 1990-luvulta tähän päivään.

Laskennassa olevat kulutustiedot perustuvat rakennuksen vakioituun käyttöön. Näin ollen kuluttajien kulutustottumuksia ei oteta huomioon. Nuukasti elävä talon omistaja ja toisaalta huolettomasti energiaa kuluttava talon omistaja ovat samalla viivalla. Esimerkiksi toteutuneeseen kulutukseen vaikuttavat sisälämpötila, asukasmäärä, veden kulutus, autojen lämmitys, ulkovalojen käyttö, sähköautojen lataaminen sekä kodin sähkölaitteiden määrä ja käyttötapa. Hyvin usein omakotitalon yhteydessä on myös sen kokoinen autotalli, jota ei laskennassa oteta huomioon, mutta sen sähkön ja lämpöenergian kulutus voi olla jopa huomattava. Edellä mainituista seikoista johtuu, että usein rakennuksen omistaja on eri mieltä energiatodistuksen lopputuloksesta eli E-luvusta.

LÄHTEET

Opinnäytetyö [Omakotitalojen energiatodistusten vertailu](#)

Suomen virallinen tilasto (SVT). s.a. Energian hankinta ja kulutus. ISSN=1799-795X. Helsinki: Tilastokeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/ehk/meta.html> [viitattu: 15.2.2022].

Savolainen, I. Kiinteistönvälittäjä, LKV. 2021. Suullinen tiedonanto toteutuneista omakotitalokaupoista Suomessa 18.12.2021. Huoneistokeskus Oy.

Vuolle, M., Airaksinen, M. & Sankelo, P. Energiatodistusopas 2018. Ympäristöministeriö.

ENERGIATEHOKAS KOULU- RAKENNUS SISÄILMAOLO- SUHTEET HUOMIOIDEN

Jori Pihl & Johanna Arola

Asiasanat: energiatehokkuus, ilmanvaihto, ohjeistus

Kiinteistöjen energiatehokas käyttö on nyt ja tulevaisuudessa avaintekijä energiankulutuksen hillitsemiseksi ja kohti hiilineutraalia ilmastotavoitetta. Erityisesti palvelurakennuksissa, joissa on paljon vajaakäyttöä, kiinteistön energiankulutusta voidaan leikata merkittävästi optimoimalla kiinteistön ilmanvaihdon käyttöä ja sisäilman lämpötiloja ympäri vuoden. Rakennuksien ja kiinteistökannan energian kulutuksen vähentäminen on osa Kotkan kaupungin ilmasto-ohjelma 2021 tavoitetta. Lisäksi rakennusten energiankulutuksen pieneeminen tukee osaltaan kaupungin sitoutumista kohti hiilineutraalia kuntaa Hinku-hankkeessa sekä kuntien energiatehokkuussopimusten säästötavoitteita. Hankkeen tavoitteena on 80 %:n päästövähennys vuoteen 2030 mennessä vuoden 2007 kulutustasosta. (Kotkan kaupunki 2021.)

TAVOITTEENA ENERGIATEHOKKAAMMAT KIINTEISTÖT

Kotkan kaupungin toimitilahallinto halusi selvittää energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutuksia sisäilmaolosuhteisiin kiinteistöissä. Energiatehokkuustoimenpiteitä ovat esimerkiksi ilmavirtojen pudotukset käyttöajan mukaan, lämpötilojen pudotukset käyttöajan ulkopuolella sekä ilmanvaihdon pysäytys kokonaan käyttöajan ulkopuolella. Vanhemmissa kiinteistöissä sisäilmaan liittyvät ongelmat ja laitteiston heikko säädettävyys ovat puoltaneet ilmanvaihdon toimintaa täydellä teholla. Uusimmissa rakennuksissa takuuajalla materiaallipäästöjen takia ilmavirtoja ei pudoteta. Varsinkin koulu- ja päiväkotikohteissa käyttöajan ulkopuolella, öisin, viikonloppuisin ja loma-aikoina, on paljon potentiaalia pudottaa ilmavirtoja sekä sisälämpötiloja. (Karnaattu 2019.)

Tutkimuksen tavoitteena oli laatia selkeä ohjeistus siitä, miten kiinteistön ilmanvaihtoa ja sisälämpötilaa voidaan kiinteistöautomaation avulla säätää eri käyttötilanteissa. Ohjeistus on tarkoitettu toimitilahallinnon ohjeeksi kiinteistöautomaation henkilökunnalle sekä hankesuunnittelun tueksi tuleviin peruskorjaus- ja uudisrakennushankkeisiin. Ohjeistuksella

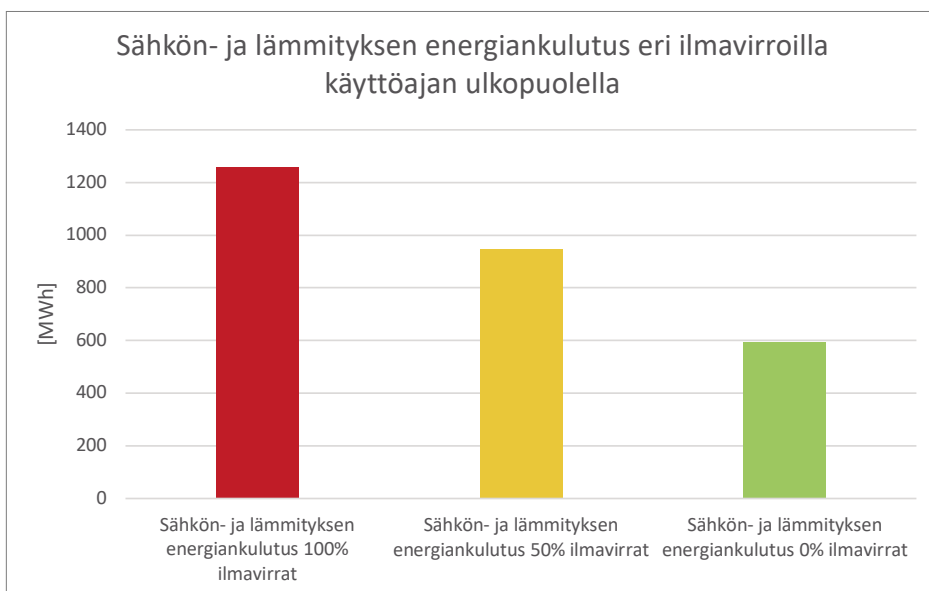
halutaan myös varmistaa, että sisäilman laatu käyttäjälle täyttää sille asetetut vaatimukset ja että käyttäjät kokevat sisäilman hyväksi. Samalla varmistutaan, että rakennuksen kannalta oikeat olosuhteet toteutuvat.

TUTKIMUKSEN KOHTEENA VAJAAKÄYTTÖINEN KOULURAKENNUS

Tutkimuksessa simuloitiin kiinteistön ilmanvaihdon käyttötapojen ja sisälämpötilojen vaikutusta energiankulutuksiin ja sisäilmaolosuhteisiin. Tutkimukseen valittiin yksi Kotkan kaupungin alakoulu, johon asennettiin sähkö- ja lämpöenergiamittauksia sekä sisäilmaa mittaavia antureita koko koulun alueelle. Ilmanvaihdon ilmavirtoja ja kiinteistön sisälämpötilaa muutettiin suunnitellun aikataulun mukaisesti koulun käyttöajan ulkopuolella. Tutkitulle rakennusosalle asennettiin jokaiseen huoneeseen yhdistelmäanturi, joka mittasi jatkuvasti huoneen lämpötilaa, kosteutta sekä CO₂-pitoisuutta. Ensimmäisen kerroksen osalta huoneissa oli käytössä myös toinen huoneanturi, joka säätö patteriventtiileitä ja siten lämpötilan pudotuksia käyttöajan ulkopuolella halutun aikataulun mukaisesti Optiwatti-järjestelmän avulla. Huonelämpötilan pudotusjärjestelmä käytti aikataulutuksen lisäksi hyväksi ennustettavuuteen alueen paikallista säädataa ja tekoälyä kiinteistön rakenteen lämpöhäviöistä.

MERKITTÄVÄT SÄÄSTÖT ILMANVAIHDON KÄYNTIAIKAA MUUTTAMALLA

Tutkimuksen tuloksista voidaan todeta, että sähkö- että lämpöenergian kulutuksissa suurimmat säästöt saadaan sammuttamalla IV-koneet käyttöajan ulkopuolella. Merkittäviä säästöjä varsinkin sähköenergian kulutuksissa saadaan myös, mikäli IV-koneet käyvät vain 50 %:n ilmavirroilla käyttöajan jälkeen. Ilmanvaihtokoneiden sammuttamisella koulun käyttöajan ulkopuolella voidaan saavuttaa jopa noin 50 %:n säästö kohteen energiankulutuksessa (kuva 1).

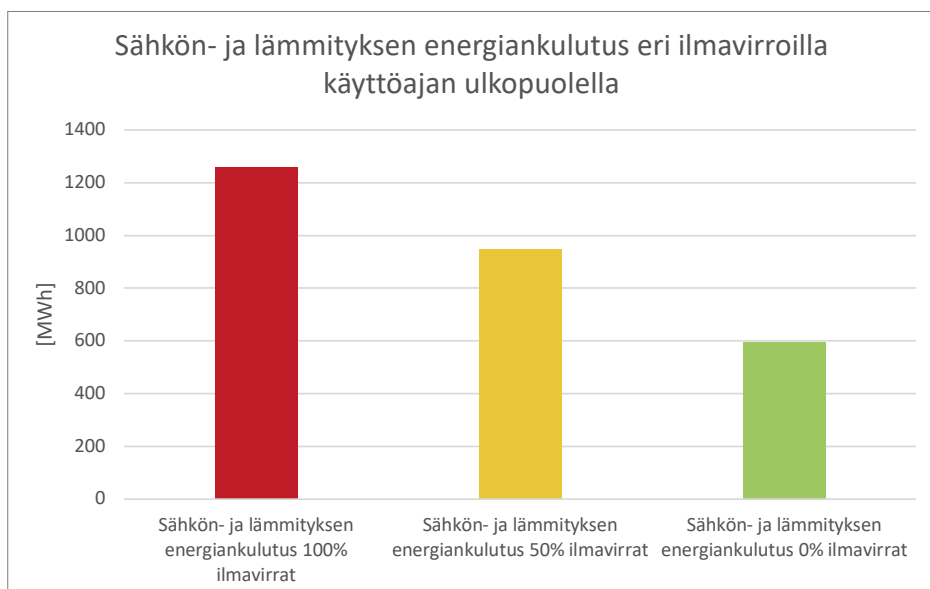


Kuva 1. IV-koneiden käytön vaikutus sähkö- ja lämpöenergian kulutuksiin

Tutkimuksen aikana IV-koneet pysäytettiin käyttäjän ulkopuolella yhtäjaksoisesti seitsemän kuukauden aikana vuoden 2021 toukokuusta marraskuulle. Tällä jaksolla saatiin vuosikulutuksessa aikaan todellisia säästöjä noin 200 MWh:n lämmitysenergiassa sekä noin 130 MWh:n sähköenergiassa. Näistä tuloksista voidaan todeta, että kuvassa esitetyt laskennalliset säästöt ovat täysin mahdollista saavuttaa vuodessa, kun varsinainen lämmityskausi ei ollut vielä edes tässä mittausjaksossa mukana.

LÄMMITYSENERGIAN SÄÄSTÖÄ LÄMPÖTILAN PUDOTUKSILLA

Huonelämpötilan pudotusjärjestelmällä suurin energiansäästö voidaan saavuttaa tilanteessa, jossa ilmanvaihtokoneet ovat 100 %:n tai 50 %:n ilmavirroilla käyttäjän ulkopuolella (kuva 2). Mikäli koneet sammutetaan käyttäjän ulkopuolella, sen vaikutus patteriverkoston energiansäästöön pienenee. Optiwatti-järjestelmän kaltainen palvelu sopiikin erityisesti kohteisiin, missä ilmanvaihtoa on pidettävä käynnissä käyttäjän ulkopuolella. Sen sijaan kohteissa, joissa ilmanvaihto on mahdollista sammuttaa käyttäjän ulkopuolella, hyödyt ovat pienemmät. Varsinkin järjestelmän lisääminen vanhoihin kohteisiin vaatii paljon asennusta, ja sen investointikustannukset voivat nousta kohteesta riippuen varsin korkeiksi. Uusiin kohteisiin on perusteltua, ainakin suunnitteluvaiheessa, kaapeloinnin ja huoneanturoinnin osalta varautua järjestelmiin.



Kuva 2. Huonelämpötilojen pudotuksien vaikutus lämpöenergiankulutukseen

ENERGIAANSÄÄSTÖTOIMENPITEIDEN VAIKUTUKSET KIINTEISTÖÖN JA KÄYTTÄJIIN

Ilmanvaihdon sammuttamisella ja jaksottaisella käytöllä käyttäjän ulkopuolella ei tutkimuksessa havaittu olevan vaikutusta koulun käyttäjän sisäilmaolosuhteisiin, kuten sisälämpötiloihin, kosteuteen, CO₂-pitoisuuksiin tai paine-eroihin rakennuksen vaipan yli.

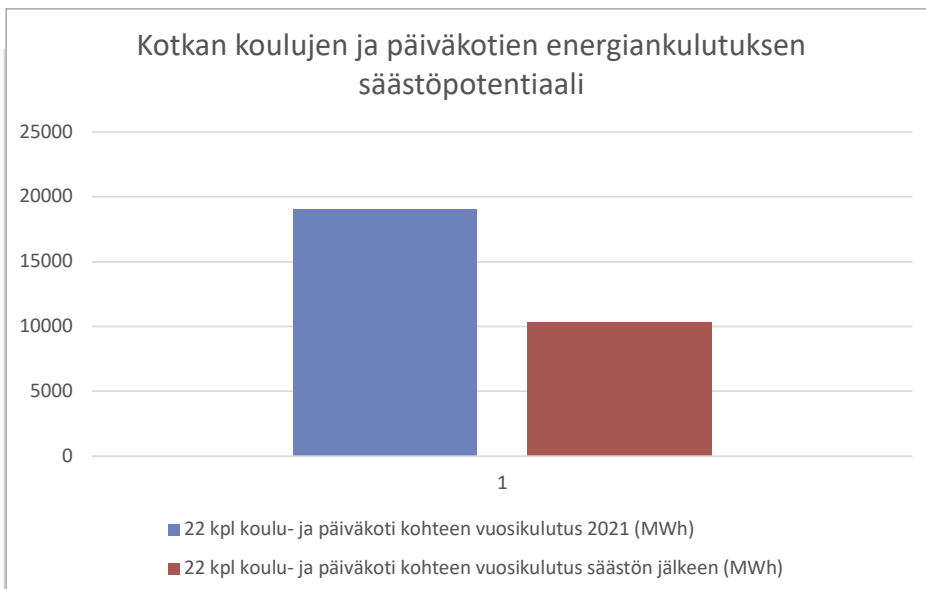
Energiansäästövaikutuksien selvittämiseksi tehdyt IV-koneiden seisautukset ja lämpötilojen pudotukset oli toteutettu ja suunnattu koulun käyttöaikojen ulkopuolelle. Kohdekouluksi valittiin nimenomaan vanha rakennus, jossa rakennusaikaiset materiaalipäästöt ovat haihtuneet. Ilmanvaihtuvuuden riittävyyden ja haju- ja epäpuhtauskertymien estämiseksi oli käyttötilojen pysäytetty ilmanvaihto käynnistetty siten, että sisäilma oli ehtinyt vaihtua mitoituksen mukaan ennen käyttäjien saapumista, yleensä vähintään 2 tuntia ennen käyttöaikaa. Huoneilman kosteus ei kohonnut IV-koneiden ollessa pysäytettyinä pintojen ja rakenteiden kastepisterajoille aiheuttaakseen mikrobikasvun riskiä.

Käyttäjähastattelujen perusteella käyttäjät eivät kokeneet tiloissa olosuhdehaittoja muutoin kuin hetkittäisten talotekniikan käyntihäiriöiden takia. Häiriöt ovat aiheutuneet tavanomaisista laitevioista, ja ne on kunnostettu aina viipymättä. Rakennuksen käyttäjiltä ei tullut viestejä ilmanvaihdon riittämättömyydestä eikä sisäilman tunkkaisuudesta, poikkeavasta lämpötilavaihtelusta tai kuivuudesta, jotka ovat yleisempiä haittatuntemuksia koulutiloissa. Covid-19-pandemian johdosta ei käyttäjäkunnalle suunniteltua toistettavaa olosuhdekaritoitusta pystytty toteuttamaan.

OHJEISTUS ENERGIATEHOKKAALLE KIINTEISTÖN KÄYTÖLLE

Tutkimuksen tuloksena laadittiin selkeä ohjeistus siitä, miten kiinteistön ilmanvaihtoa ja sisälämpötilaa voidaan kiinteistöautomaation avulla säätää eri käyttötilanteissa. Ohjeistuksen mukaisella käytöllä voidaan lisäksi saavuttaa kaupungin energiatehokkuussopimusten tavoitteet tuleville vuosille koko Kotkan kaupungin kiinteistökannassa ja vähentää CO₂-päästöjä rakennusten energiankäytössä merkittävästi.

Tutkimuksen merkitys kansallisten energiatehokkuussopimusten energiatehokkuustavoitteiden saavuttamiseksi on myös merkittävä. Mikäli työn tuloksena kootun ohjeen mukaista ilmanvaihdon käyttötapaa laajennetaan Kotkan koulu- ja päiväkotikohteissa, saavutetaan kirkkaasti KETS-tavoite vuoteen 2025 mennessä (kuva 3). Ilmanvaihdon käyttötapaa on potentiaalia laajentaa myös muihin palvelurakennuksiin, ja sillä voitaisiin saavuttaa jopa useamman kymmenen prosentin säästöt koko kiinteistökannan energiankulutuksissa tulevaisuudessa. (Rantanen 2022.)



Kuva 3. 22 kohteen energiasäästöpotentiaali vuoden 2021 energiankulutustiedoilla

ENERGIAN TEHOKKAALLA JA JÄRKEVÄLLÄ KÄYTÖLLÄ MERKITTÄVIÄ VAIKUTUKSIA

Tutkimuksen avulla kerättiin ja saatiin myös arvokasta tietoa ja kokemusta eri olosuhdeseurantajärjestelmistä ja niiden toimivuudesta kiinteistöissä. Näiden kokemusten perusteella on helpompaa päivittää kiinteistöjen rakennusautomaatio- ja huoltokirjajärjestelmiä, kun tiedetään tulevaisuuden muutostarpeet sisäilmaolosuhteiden ja energiaraportoinnin osalta. Tulokset myös ohjaavat varsinkin uusien rakennusten talotekniikan suunnitteluohjeiden päivitystä, jolla pyritään entistä suurempiin energiasäästöihin kiinteistöjen käyttöajan ulkopuolella sekä huolehditaan siitä, että olosuhteet käyttäjälle toteutuvat suunnitellusti rakennuksen käyttöaikana.

Toivottavasti tutkimuksen tulokset myös rohkaisevat muita kuntia, kaupunkia tai muita kiinteistöjä omistavia julkisyhteisöjä käyttämään kiinteistökantansa talotekniikkaa energiataloudellisesti ja samalla huolehtimaan riittävästä sisäilman olosuhdeseurannasta kohteissa. Sähkön- ja kaukolämmön energiataloudellinen käyttö ja sen ennustettavuus kiinteistöissä voi lisäksi johtaa kysyntäjouston perustavaan energian käyttöön, jolla voi olla suuri merkitys energiaverkkojen kuormitukseen ja energian hinnoitteluun tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Opinnäytetyö Energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutus sisäilmaolosuhteisiin koulurakennuksessa

Kotkan kaupunki. 2021. Kotkan kaupungin ilmasto-ohjelma 2021. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.kotka.fi/wp-content/uploads/2021/04/kotka_ilmastoohjelma2021_2030_hyvaksyty_korjattu2021-04-29.pdf [viitattu 12.01.2022].

Karnaattu, R. 2019. Sisäilma-asiantuntija. Haastattelu 09.08.2019. Kotkan kaupunki. Toimitilahallinto.

Rantanen, A. 2022. Tekninen tilasihteeri. Sähköpostiviesti 10.2.2022. Kotkan kaupunki. Tekniset Palvelut.



XAMK
KEHITTÄÄ