



# INSINÖÖRIYDEN KYNNYKSELLÄ

Sähkö-, talo- ja biotuotetekniikan  
koulutusten opinnäytetöitä  
vuosijulkaisu 2021

Kari Dufva & Mari Koivunen (toim.)



Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu

Kari Dufva & Mari Koivunen (toim.)

# INSINÖÖRIYDEN KYNNYKSELLÄ

Sähkö-, talo- ja biotuotetekniikan  
koulutusten opinnäytetöitä  
vuosijulkaisu 2021



XAMK KEHITTÄÄ 175

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU  
MIKKELI 2021

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Pixabay

Taitto- ja paino: Grano Oy

ISBN: 978-952-344-393-8 (nid.)

ISBN: 978-952-344-394-5 (PDF)

ISSN: 2489-2467 (nid.)

ISSN: 2489-3102 (verkko)

[julkaisut@xamk.fi](mailto:julkaisut@xamk.fi)

# LUKIJALLE

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun monipuolinen insinöörikoulutus toimii yhdessä yritysten ja elinkeinoelämän kanssa koulutuksen, yritysten ja aluekehityksen hyväksi. Insinöörikoulutusten avulla ammattikorkeakoulu palvelee useita eri teollisuuden aloja ja on mukana lisäämässä osaamista tekniikan alalla. Monipuoliset kehitystehtävät ovat tärkeä osa insinöörikoulutusta.

Insinööriyden kynnyksellä -julkaisun toiseen vuosikertaan on koottu Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun sähkö-, talo- ja biotuotetekniikan koulutusten insinööriopiskelijoiden opinnäytetöinä julkaistuja tutkimuksia, jotka on toteutettu yhteistyössä yritysten kanssa. Yrittäjyys on tärkeä osa koulutusta, ja opiskelijan omaan tuotekehitykseen kannustavana opinnäytetyönä tässä teoksessa esitellään sähkötekniikan alaan liittyvä tuoteideointi.

Artikkeliteoksessa esiteltävät opinnäytetyöt kuvaavat koulutuksen monialaisuutta ja vaikuttavuutta yhteiskunnan eri aloille. Julkaisussa esillä olevat työt ovat vain pieni osa vuoden 2021 aikana tehdyistä opinnäytetöistä, mutta ne kuvaavat osaltaan koulutuksen monialaisuutta. Artikkeleissa käsitellään muun muassa opiskelijoiden liikkuvuutta, mittaustekniikoita, energiaa sekä korjausrakentamista.

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

*Tekijät*

Mikkelissä 2.11.2021

# KIRJOITTAJAT

**JOHANNA AROLA**, ins. (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

**ANNA FORSSTRÖM**, ins. (ylempi AMK), lehtori  
Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy, Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutus

**JARI HARTIKAINEN**, ins. (AMK), työnjohtaja

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

**MIKKO KETTUNEN**, ins. (ylempi AMK), kehityspäällikkö  
Lempäälän Lämpö

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

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

**JERE KURVINEN**, ins. (AMK), automaatio suunnittelija

**TERO KÄMPPI**, ins. (AMK), Insinööri  
Proenco Oy

**JANI LECKLIN**, ins. (AMK)

**JYRKI LIIKANEN**, DI, lehtori  
Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy, Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutus

**AKU OKSALA**, ins. (ylempi AMK), tradenomi (ylempi AMK), toimitusjohtaja  
Turvallisuus- ja rakennusinsinööritoimisto A. Oksala Ky

**PETTERI PAANANEN**, DI, lehtori

Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy, Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutus

**JUHO PEURA**, ins. (AMK), tutkimusinsinööri

Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy

**TERHI ROPPONEN**, ins. (AMK), tutkimusapulainen

Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy

**LAURI SMEDS**, ins. (ylempi AMK)

**ELLA TIRRONEN**, ins. (AMK), projektitutkija

Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy

**REETTA TURTIAINEN**, ins. (ylempi AMK)



# SISÄLTÖ

LUKIJALLE.....	3
KIRJOITTAJAT .....	4
JOHDANTO.....	8
OPINNÄYTETYÖN MERKITYS VALMISTUMISVAIHEEN INSINÖÖRILLE .....	11
Terhi Ropponen	
SELLULOOSAMATERIAALIEN VAALEUDEN MITTAUS .....	14
Ella Tirronen & Petteri Paananen	
MITTAUSTEKNIKOIDEN SOVELTAMINEN STANDARDIN MUKAISISSA PINNANLAADUN MITTAUKSISSA.....	21
Jani Lecklin & Juho Peura	
LÄMPÖTILAN JA LÄMMITYSTEHON MALLINTAMINEN SUKITUKSEN KOVETTUMISPROSESSISSA.....	25
Jari Hartikainen & Petteri Järvelä	
DATA-ANALYTIIKAN SOVELTUVUUS KIINTEISTÖJEN YLLÄPITOON KYS PUIJON SAIRAALASSA.....	30
Reetta Turtiainen & Johanna Arola	
KLAPIKUIVAAMON LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN JA ILMANVAIHDON SUUNNITTELU .....	35
Tero Kämppe & Anna Forsström	
OPISKELIJOIDEN KANSAINVÄLISEN LIIKKUVUUDEN PARANTAMINEN DIGITAALISUUDEN AVULLA .....	39
Lauri Smeds & Juha Korpijärvi	
SÄHKÖMARKKINAN AUTOMATISOINTI .....	45
Mikko Kettunen & Juha Korpijärvi	
ARDUINO-POHJAINEN TOYOTA- AJONEUVON DIAGNOSTIIKKAVÄYLÄN LUKULAITE.....	50
Jere Kurvinen & Jyrki Liikanen	
KORJAUSRAKENTAMISEN ENERGIATEHOKKUUS JA HIILIJALANJÄLKI, SUUNNITTELUSTA TOTEUTUKSEEN.....	57
Aku Oksala & Petteri Järvelä	



# JOHDANTO

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tekniikan koulutusosalalla on viisi koulutusyksikköä ja toimintaa Kotkan, Kouvolan, Mikkelin ja Savonlinnan kampuksilla. Insinöörikoulutusta annetaan informaatioteknologian, logistiikan ja merenkulun, metsätalouden ja ympäristötekniikan, rakennus- ja energiatekniikan sekä sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutusyksiköissä. Monipuolinen tekniikan koulutus tukee erityisesti Kymenlaakson sekä Etelä-Savon alueita osaamisen kehittämisen avulla.

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

Innovatiivisuus, luovuus, huolellisuus, oivaltavuus sekä vaikuttavuus ovat asioita, joita Insinööriliitto tarkastelee palkitessaan vuoden insinööritöitä vuonna 2021. Termit ovat tuttuja tekniikan alojen opiskelijoille ja valmistuneille ammattilaisille. Ehkä ne määrittelevät ja kuvaavat jollain lailla ammattikunnan arvoja ja tavoiteltavaa tekemisen tapaa. Lisäksi ne kuulostavat elementiltä, joiden varaan voi jotakin rakentaa. Ammattikorkeakoulusta valmistuvat insinööriopiskelijat tekevät käytännössä aina jonkinlaisen projektin tai kehityshankkeen opinnäytetyönä. Usein työllä on tilaaja tai joku asiasta kiinnostunut taho, joka tarvitsee ratkaisua ongelmaan tai uutta tietoa rakennuspalikaksi vanhan päälle. Tämän kokoomateoksen tavoitteena on tuoda esille insinööriopiskelijoiden opinnäytetöitä sekä kuvastaa opinnäytetöiden vaikuttavuutta yhteiskuntaan sekä elinkeinoelämän eri osa-alueisiin. Teoksen artikkelit edustavat vain pientä osaa yksikön vuosittaisesta valmistuvien insinöörien opinnäytetyömäärästä.

Kokoomateoksen artikkelit muodostuvat sähkö- ja automaatiotekniikan, talotekniikan (LVI), biotuotetekniikan sekä prosessi- ja materiaalitekniikan koulutusten opinnäytetöistä. Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetöitä on esitelty sähkövoimatekniikan sekä talotekniikan YAMK -koulutuksista. Kirjoittajina ovat opinnäytetöiden tekijät sekä ohjaavat opettajat.

Opiskelijan artikkelissa *Opinnäytetyön merkitys valmistumisvaiheen insinöörille* pohditaan valmistumista ja opinnäytetyötä opiskelijan silmin. Opintojen loppuvaihe ja siihen liittyvä tutkimuksellinen projekti, opinnäytetyö, on merkityksellinen opiskelijalle monestakin näkökulmasta. Työssä eteen tulevat kysymykset ja asiat toimivat siirtymänä opiskelijasta insinööriksi, oman alan jäseneksi, joka puhuu kollegoiden kanssa samaa kieltä.

Prosessi- ja materiaalitekniikan koulutukseen liittyvässä opinnäytetyössä *Mittaustekniikoiden soveltaminen standardin mukaisissa mittauksissa* on verrattu koivu- ja kuusiviulun aaltoilun ja pinnankarheuden mittaamisessa käytettävien standardien mukaisten sekä soveltavien menetelmien avulla saatuja tuloksia toisiinsa ja analysoitu, miten ne korreloivat keskenään.

Artikkeli *Lämpötilan ja lämmitystehon mallintaminen sukituksen kovettumisprosessissa* paneutuu putkistojen korjausmenetelmän kehittämiseen. Työssä on hyödynnetty matemaattista mallinnusta sekä kokeellisia mittaamenetelmiä laboratoriossa. Tulosten vertailun ja jatkokehityksen avulla tutkimustieto on suoraan sovellettavissa käytännön työhön ja tuottavuuden parantamiseen.

*Data-analytiikan soveltuvuus kiinteistöjen ylläpitoon KYS Puijon sairaalassa* on ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon työ, jossa selvitettiin tietyn automaatiojärjestelmän osa-alueen hyödyllisyyttä ja toimivuutta määritellyssä kohteessa. Tutkimuksen tuloksena saatiin harvinaista ja monipuolisesti hyödynnettävää tutkimustietoa, joka palvelee laajaa asiantuntijakuntaa kyseisen rakennuskannan ylläpitotoiminnan lisäksi.

Talotekniikan opinnäytetyön *Klapikuivaamon lämmitysjärjestelmän ja ilmanvaihdon suunnittelu* tarkoituksena oli suunnitella klapikuivurirakennukseen toimiva ja kustannustehokas kuivausjärjestelmä. Opinnäytetyössä selvitettiin kuivuriin tulevan lämmönsiirtojärjestelmän vaatima teho, jotta se osataan ottaa huomioon hakelämmitysjärjestelmää suunniteltaessa. Työn tulokset parantavat kuivausjärjestelmän energiatehokkuutta ja nostavat polttopuun taloudellista kannattavuutta.

Globaali ajatusmaailma ja digitaalisten työvälineiden käytön muodostama toimintakulttuuri rakentavat maailmankuvan, jossa etäisyydet häviävät ja ihmiset kommunikoivat tietoliikenneverkkojen välityksellä. Kuvan ja äänen välittäminen toiselle henkilölle ei vaadi fyysistä liikehdintää ja on ihmiselle energisesti helppoa ja vaivatonta. Opiskelussa ja työelämässä henkilön sijainnilla ei ole enää suurta merkitystä. Tällaiseen maisemaan sijoittuu opinnäytetyö *Opiskelijoiden kansainvälisen liikkuvuuden parantaminen digitaalisuuden avulla*, jonka tavoitteena oli löytää kansainvälisyyden ja digitalisuuden muodostaman synergian kehityskohteita, joiden parantaminen auttaa toteuttamaan digitaalisesti tuetun opintokokonaisuuden.

Sähkömarkkinoiden kehitys ja tutkimus on merkittävä sähkötekniikan osa-alue, johon liittyvät niin taloudelliset kuin verkkotekniset asiat. Opinnäytetyö *Sähkömarkkinan automatisointi* tutkii hyvin tärkeää ja ajankohtaista asiaa liittyen sähkömarkkinoihin. Työssä käsitellään tasevastaavan roolia ja käsitteitä, kuten verkon tasapaino ja reservituotteet. Työ osoittaa havainnollisesti uusiutuvien energiamuotojen käytön monimutkaisuutta sähköverkon näkökulmasta.

Innovatiivinen laiterakentaminen on perinteisesti erittäin merkityksellinen osa insinöörin työtä ja toimenkuvaa. Opiskelijan omana projektina toteutetun työn *Arduino-pohjainen Toyota-ajoneuvon diagnostiikkaväylän lukulaite* tavoite oli rakentaa iältään vanhempien autojen huollon avuksi soveltuva laite. Työssä yhdistyvät moniulotteisesti sähkötekniikan perusteet, tietoliikennetekniikka, laiterakentaminen sekä tuotesuunnittelu.

Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutusyksikön opinnäytetöiden kokoomateos julkaistaan nyt toistamiseen. Teoksen toivotaan osaltaan tuovan esille tekniikan opinnäytetöitä ja sitä tiivistä yhteistyötä yrityselämän kanssa, jota tekniikan koulutus ja lukuisat opiskelijaprojektit toteuttavat.

# OPINNÄYTETYÖN MERKITYS VALMISTUMISVAIHEEN INSINÖÖRILLE

Terhi Ropponen, valmistuva biotuotetekniikan insinööri

Valmistumisvaiheessa tehtävän opinnäytetyön merkitys vaihtelee riippuen siitä, mistä näkökulmasta työtä tarkastellaan. Opinnäytteen aihe voi olla opiskelija- tai tilaajalähtöinen ja hyvinkin innovatiivinen, mutta useimmiten aihetta kuitenkin pohjustetaan raportissa aiheeseen liittyvistä alan perusasioista kertomalla. Niin varmistetaan se, että paitsi raportin lukija, myös tekijä saa kattavan käsityksen työstä. Työstä käytetään montaa nimitystä: insinöörin opinnäytetyö, opinnäyte tai insinööriä. Insinöörien opinnäytetyöissä tehdään usein myös salassa pidettävää tutkimusta, mutta toisaalta julkinen versio opinnäytetyöraportista on kuitenkin perusvaatimus. Tämä asettaa haasteita raportin muotoilulle, vaikka se ei olekaan mahdoton tehtävä.

Tein itse vastikään oman opinnäytetyöni. Työni aiheena oli modifioidun selluloosan fraktiointi painelajittimella, ja myös siihen kuului salassapitosopimus. Raportin sain kuitenkin julkaista sellaisenaan, tuloksineen kaikkineen, koska jätin spesifioimatta tarkalleen lähtö- ja lopputuotteen sekä kertomatta oleellisesti vain tilaajalle kuuluvia tietoja. Tein työn tilaajan kanssa tiivistä yhteistyötä ja varmistin eri vaiheissa, että asioista kertominen pysyi toivotulla tasolla. Työn tilaaja sai työstäni arvokasta tietoa prosessiensa kehittämiseen. Myös työlle puitteet tarjonnut Kuitulaboratorio hyötyi työstäni, sillä se lujitti entisestään asiakassuhdetta työni tilaajan kanssa. Samalla Kuitulaboratoriolla oli hyvä mahdollisuus nähdä, olisiko minunlaiseni henkilö jatkossakin tarpeen heidän palkkalistoillaan. Laadukkaat ja innovatiiviset opinnäytetyöt kasvattavat myös yleisesti Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun tunnettuutta ja hyvää mainetta.

Esittelin valmiin työni seminaarissa, joka pidettiin lähiopetuksessa olleelle luokalle paikan päällä ja samaan aikaan videon ja diaesityksen muodossa Teamsin välityksellä työnantajan edustajille ja työn tilaajalle. Seminaarissa ja viimeistään työni loppupalaverissa sain tuntea, että minusta on työn aikana tullut aiheeni asiantuntija. Pystyin vastaamaan mihin tahansa kysymykseen aiheesta sekä esittämään jatkokehitysideoita. Opinnäytetyön tekemisellä onkin ollut arvaamattoman suuri merkitys ammatti-identiteettini kehittymiselle. Se, että voin keskustella lähes vertaisena työelämässä jo vaikuttavien insinöörien kanssa, luo uskoa siihen, että olen valinnut oikean alan. Työn laajuus ei myöskään jälkikäteen tunnu niin valtavalta, ettenkö pystyisi tulevaisuudessa tekemään laajempaakin tutkimusta tai vaativia ammattijulkaisuja.

Monilla aloilla opinnäytetyö tehdään parin kanssa tai jopa ryhmässä. Insinöörityöt ovat kuitenkin useimmiten hyvinkin itsenäisesti tehtäviä. Ohjausta ja neuvoja kyllä saa pyytäessä, mutta ainakin omassa työssäni huomasin, että vastuu ohjauksen saamisesta ja työn painopisteistä oli pääasiassa työn tekijällä eli minulla itselläni. Hyvä niin, sillä kun työn etenemisestä on itse vastuussa, tekeminen saa vaistomaisesti ammattimaisemman otteen. Muuten opinnäytetyö ei etene tai oma suoritus jää vajaaksi. Monien insinööritöiden sisältämässä kokeellisessa toiminnassa voi tulla vastaan myös sellainen tilanne, että toivotut tavoitteet jäävät saavuttamatta. Joko suunniteltu prosessi tai laite ei toimi ennakoitusti, aikataulut venyvät, suunnitelmia tai aihetta joudutaan muuttamaan kesken työtä tai vaikkapa opiskelijan elämäntilanne ei mahdollistakaan täyttää panosta työhön. Se, että insinööriopiskelija saa usein opinnäytetyön tekemisestä palkkaa, motivoi kuitenkin varmasti tekemään parhaansa. Oman työni tilaajalla on hyvät valmiudet hyödyntää kaikkea heille tehdyn opinnäytetyön tai diplomityön kautta tulevaa tietoa. Oli huojentavaa kuulla jo työni alkuvaiheessa, että myös epäonnistuessaan koeajo tai koko opinnäytetyön aihe voi antaa tilaajalle arvokasta tietoa. Tavoitteena oli onnistuminen, mutta myös epäonnistuminen opettaisi jotakin. Tärkeintä on selvittää, mistä toimivuus tai toimimattomuus johtuu ja miten jatkossa kannattaisi edetä päästäkseen parempaan lopputulokseen.

Opinnäytteeni tekeminen sisälsi tiedonkeruuta, suunnittelua, sidosryhmäviestintää eri muodoissaan, aikataulutusta, laitteistoon tutustumista, prosessinohjausta, näytteenottoa, laboratorioanalyysijä, tulosten kirjaamista ja analysointia, raportin kirjoittamista ja taulukkolaskentaohjelman, yhtälöiden ja tekstinkäsittelyohjelmien hallintaa. Varsinaisen opinnäytetyöni ympäriltä sain lisäksi opetella työssä käytetyn massan valmistusta ja pääsin tutustumaan mahdollisiin jatkojalostusprosesseihin. Kieltämättä aluksi hyvin tekniseltä ja jopa vieraalta kuulostanut opinnäytteeni aihe herätti työn edetessä innostukseni. Insinööri-seminaarissani sanoinikin, että työstä jäi nälkä oppia lisää ja kehittää osaamistani ja tilaajan prosessia edelleen. Kenties siihen tarjoutuu jo lähitulevaisuudessa mahdollisuus.

Maailman mittakaavassa insinöörityöni merkitys on melko mitätön. Lähipiirissänikin opinnäytteeni on vain yksi virstanpylväs matkalla tutkintoon. Minulle opinnäytetyön tekeminen oli toki virstanpylväs, mutta myös jotakin suurempaa. Työssä nivoutui yhteen koko opintojen aikana saamani tietomäärä, syyt, miksi hakeuduin insinööriopintoihin, sekä niin sidosryhmien kuin omatkin toiveeni siitä, mitä työssäni voisin saavuttaa. Insinöörien opinnäytetöiden kollektiivinen vaikutus insinöörien työelämäkentän ja tekniikan kehitykseen on merkittävä. Nyt tiedän, että minusta todella on insinööriksi, ja mieltäni kutkuttaa, millaisia töitä saankaan tulevaisuudessa tehdä.



**Kuva 1.** Opinnäyteprosessin aikana ehdin myös Pyhä-Luoston maisemiin. (kuva: Matti Hämäläinen)

# SELLULOOSAMATERIAALIEN VAALEUDEN MITTAUS

Ella Tirronen & Petteri Paananen

Asiasanat: vaaleusmittaus, vaaleus, arkkivaaleus, jälkikellertyminen

Vaaleus luokitellaan sellu- ja paperituotteiden optisiin ominaisuuksiin. Riippuen lopputuotteesta tavoitteena on usein suuri vaaleus, sillä se lisää tuotteen markkinallista arvoa. Tummuminen tai jälkikellertyminen on kuitenkin todellisia ongelmia monille sellu- ja paperituotteille (Stenius 2000, 279). Tuotteen vaaleuden parantamiseksi sellua muun muassa valkaistaan ja pestään, jotta massasta saadaan poistettua sen tummumista aiheuttavia tekijöitä, kuten ligniiniä. Kellertymistä on tutkittu eniten ligniiniä sisältävissä materiaaleissa, mutta sitä voi esiintyä myös materiaaleissa, jotka eivät sisällä ligniiniä, kuten mikrokiteisessä selluloosassa.

Mikrokiteinen selluloosa (MCC) on tulevaisuuden raaka-aine, joka soveltuu moniin eri käyttötarkoituksiin. Sitä voidaan käyttää muun muassa elintarviketeollisuudessa, lääketeollisuudessa tai kosmetiikkateollisuudessa. (Vanhatalo & Dahl 2014.) MCC on puhdistettua selluloosaa, jonka raaka-aineena voidaan käyttää mitä tahansa kasviperäistä materiaalia, joka sisältää selluloosan kiteisiä rakenteita (Vanhatalo 2017, 15–16). Sen valmistukseen käytetään hydrolyysiä, jossa selluloosan kuitumainen rakenne muuttuu partikkelimaiseksi mikrokiteiseksi selluloosaksi (Vanhatalo 2017, 19).

## TUTKIMUKSEN TAVOITE JA TAUSTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, mitkä tekijät vaikuttavat MCC:stä valmistettävien kakkujen vaaleuteen. Tutkimuksen konkreettisena tavoitteena oli löytää uusi vaaleuskakkujen tekoon käytettävä menetelmä, joka olisi mahdollisimman toistettava ja varmistaisi luotettavan arkkivaaleusmittauksesta saatavan tuloksen.

MCC on vaaleuskakkujen tekoon hieman hankala materiaali, sillä sen lämmönkestävyys käsiteltäessä on rajoittunut, mikä altistaa materiaalin tummumaan tai jälkikellertymään liian korkean lämpötilan vaikutuksesta. MCC:n partikkelikoko on myös melko pieni, ja sen kiteisen rakenteen vuoksi sidokset kuitujen välillä ovat heikompia kuin selluloosakuitujen (Chuin, Fazita, Haafiz, Hassan, Hussin, Sabar, Taiwo & Trache 2016.) Tämä voi

olla mahdollinen syy vaaleuskakkujen halkeamiselle, mikä vaikuttaa vaaleusmittaukseen. Vaaleuskakkujen vaaleusmittauksen ottamista vaikeuttaa myös kakkujen käpristyminen, joka havaittiin tutkimuksen edetessä.

Mainittujen tutkimusongelmien välttämiseksi tutkimus aloitettiin kartoittamalla erilaisia vaaleuskakkujen tekoon käytettäviä muuttujia, joilla saattaisi olla vaikutusta vaaleuskakkujen ominaisuuksiin. Epäolennaiset menetelmät eli muuttujat, joilla ei todettu juurikaan vaikutusta, sekä muuttujat, joiden vaikutus oli merkittävästi heikentävä, rajattiin pois tulosten tarkastelusta. Tämän seurauksena tuloksista tuli esiin kolme päätekijää: kuivaus, pH ja puristus. Tutkimuksen alussa tärkeimpänä muuttujana pidettiin eri kuivaustapojen vaikutusta kakkujen vaaleuteen.

## MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Tutkimuksessa vaaleuskakkujen valmistamiseen käytettiin kolmea eri MCC-massaa. MCC1 oli tehty valkaistusta havupuusta ja läpikäynyt pisimmän sekä ns. rankimman keiton verrattuna toisiin materiaaleihin. MCC2 oli valmistettu valkaistujen lehtipuiden sekoituksesta, ja sen keittovaihe oli miedompä kuin MCC1. Kolmas materiaali eli MCC3 valmistettiin valkaisemalla MCC1-massaa vetyperoksidilla.

Vaaleuskakkujen valmistamisessa kokeiltiin paljon erilaisia menetelmiä, jotka on koottu taulukkoon 1, mutta perusmenetelmä ilman muuttujia oli sama. Vaaleuskakkujen teko aloitettiin annostelemalla oikea määrä MCC:tä, joka laimennettiin ja sekoitettiin 250 ml veteen. Tämän jälkeen seos hajotettiin drink mixerillä, minkä jälkeen massa säädettiin haluttuun pH-arvoon. Seuraavaksi massa kaadettiin halkaisijaltaan 110 mm büchner-supilon läpi, jolloin suodatuspaperin päälle muodostui varsinainen kakku. Kakku puristettiin joko imukartonkien välissä arkipuristimessa tai kaulittiin ennen kuivaamista. Jokaisella eri testausmenetelmällä tehtiin kolme rinnakkaista kakkua jokaisesta massasta.



**Taulukko 1.** Tutkimuksessa käytetyt eri testausmenetelmät

Muuttuja	Menetelmä
Annosteltava massa (g)	Kakut tehtiin 3,8 g (abs. kuiva) ja 5 g (abs. kuiva) massamäärillä.
Suodatus (s)	Ensimmäisellä menetelmällä suodatus lopetettiin heti veden poistuttua kakun päältä ja toisessa menetelmässä suodatusta jatkettiin veden poistumisen jälkeen 60 s.
pH	Eri pH:na testattiin 3, 5, 7 ja 9. Massa pyöri magneettisekoittimessa pH:n säädön ajan.
Arkkipuristus (MPa)	Arkkipuristuksessa testattiin eri puristuspaineita, jotka olivat 0,1 MPa, 0,3 MPa ja 0,5 MPa.
Puristusaika (s)	Arkkipuristuksessa testattiin eri puristusaikoja, jotka olivat 60 s ja 240 s.
Kaulinta	Kakku pinottiin imukartonkien väliin ja kaulittiin 6 kertaa pysty- ja vaakasuunnassa 10,9 kg kaulimella.
Ilmastointihuone	Kakku laitettiin kahden imukartongin väliin ja kuivattiin ilmastointihuoneessa kuivauslevyjen välissä.
Grilli	Kakku pinottiin uusien ja käytettyjen imukartonkien väliin: käytetty-uusi-uusi-näyte-uusi-uusi-käytetty ennen grilliä. Uloimmat imukartongit poistettiin 5, 2, ja taas 2 min grillissä olon jälkeen.
Vakuumikuivain	Kakku asetettiin uusien imukartonkien väliin ja laitettiin vakuumikuivaimeen (95°C) 25 min kuivumaan.

Kakkujen vaaleus mitattiin L&W Elrepho -vaaleusmittarilla (kuva 1), jonka mittaus perustuu ISO 2469 -standardiin. Näyte asetetaan näytteennostimen päälle kohtisuoraan mittausanturia, joka mittaa näytteen vaaleuden. Mittausalue on halkaisijaltaan 30 mm, ja yhdestä näytteestä otetaan kolme mittauseri puolilta näytettä. Vaaleusmittari on yhteydessä tietokoneohjelmaan, joka luo raportin laitteen ottamista tuloksista. Raportista nähdään näytteestä otettujen kolmen mittauksen vaaleuksien keskiarvo, korkein ja matalin arvo sekä mittausten keskihajonta.



**Kuva 1.** L&W Elrepho -vaaleusmittari (ABB 2016)

## TULOKSET

Tutkimuksessa havaittiin, että jotkut koemenetelmät aiheuttivat vaaleuskakkujen ulkomuotoon selviä eroja yksin tai niiden yhteisvaikutuksesta. Kuivausmenetelmillä oli suurin vaikutus vaaleuteen. Paras vaaleus saavutettiin vakuumikuivaimella ja huonoin vaaleus grillillä. Grillin huomattiin eniten tummentavan ja aiheuttavan halkeamia kakkuihin. Kakut tummuivat silmin nähden merkittävästi myös ilmastointihuoneessa sekä käpristyivät siellä kuivueessaan.

Puristusmenetelmän valinnalla huomattiin olevan yllättävän suuri merkitys vaaleustulokseen. Parempi vaaleus saavutettiin kaulinnalla verrattuna arkkipuristimeen. Eri kuivaus- ja puristusmenetelmien yhteisvaikutuksilla nähtiin olevan myös suuria vaikutuksia vaaleuskakkujen ulkomuotoon. Arkkipuristimen ja vakuumikuivauksen jälkeen kakut halkesivat enemmän kuin kaulinnan ja vakuumikuivauksen jälkeen. Suurimmat halkeamat syntyivät kuitenkin kaulinnan ja ilmastointihuoneessa kuivaamisen jälkeen. Kuvassa 2 on esitetty näillä eri puristus- ja kuivausmenetelmillä tehtyjä kakkuja kolmella eri massalla. Kuvien alarivillä on MCC1-kakut, keskellä MCC2-kakut ja ylärivillä MCC3-kakut.



**Kuva 2.** Vaaleuskakut, jotka on kuivattu vakuumikuivaimella (vasen kuva) sekä ilmastointihuoneessa (oikea kuva) ja puristettu kaulimella sekä arkkipuristimella (kuva: Ella Tirronen)

pH:lla ei ollut suurta merkitystä vaaleuteen, mutta hieman parempi vaaleus saavutettiin alhaisemilla arvoilla eli pH 3 ja pH 5. Suurempi merkitys pH:lla oli massan suotautumisnopeuteen, joka hidastui huomattavasti, kun pH:ta nostettiin. Suotautuminen kesti MCC3-massalla noin 10 minuuttia büchner-supplon läpi, kun pH oli säädetty arvoon 3. Vastaavasti, kun pH säädettiin arvoon 9, suotautuminen kesti 25 minuuttia. Syy saattaa johtua kuitujen merkittävämmästä turpoamisesta alkalisissa olosuhteissa.

## YHTEENVETO

Tutkimustulokset osoittivat, että paras tulos vaaleuden kannalta saavutetaan, kun pH-olosuhteet asetetaan hieman happamiksi, kakut kaulitaan ja kuivataan vakuumikuivaimessa. Alhaisempi pH paransi hieman vaaleutta, mutta ensisijaisesti nopeutti kakkujen tekomenetelmää. Kaulinnan ja vakuumikuivaimen yhteisvaikutus mahdollistaa tasaisimmat vaaleuskakut, jolloin kakkujen pinnalle muodostuu vähiten halkeamia. Kaulinnasta ja vakuumikuivaimesta syntyvä puristusteho näyttäisi olevan optimaalisin, sillä arkkipuristimen ja vakuumikuivaimen yhteisvaikutuksesta syntyi huomattavasti enemmän halkeamia. Ilmastointihuone ei toiminut kuivauksessa, sillä kakut käpristyivät paljon, mikä teki vaaleusmittauksen ottamisesta vaikeaa ja grilli hylättiin varhaisessa vaiheessa sen huomattavan tummentamisen takia.

Kuivausmenetelmistä vakuumikuivaimen ei oletettu olevan paras menetelmä, mutta sen ansiosta rinnakkaiset kakut olivat yhtenäisimmän näköisiä, mistä päätellen menetelmää voidaan pitää toistettavimpana. Tällä menetelmällä kakuista saatiin myös luotettavimmat tulokset, sillä kolme tarvittavaa mittausta saatiin otettua eri puolilta kakkua ilman, että halkeamia tai käpristyviä reunoja tarvitsisi vältellä. Tutkimusta voidaan pitää onnistuneena, sillä sen avulla saatiin uutta tietoa materiaalina käytetyn MCC:n vaaleusominaisuuksista ja siitä tehtävien vaaleuskakkujen tekoon löydettiin parempi menetelmä.

## LÄHTEET

ABB Lorentzen & Wettre. 2016. Elrepho Lorentzen & Wettre Products – Paper Testing. Tietolomake. Saatavissa: [Elrepho \(abb.com\)](http://Elrepho(abb.com)) [viitattu 27.9.2021].

Dahl, O.P. & Vanhatalo, K.M. 2014. Effect of mild acid hydrolysis parameters on properties of microcrystalline cellulose. BioResources. Saatavissa: [Effect of Mild Acid Hydrolysis Parameters on Properties of Microcrystalline Cellulose | Vanhatalo | BioResources \(ncsu.edu\)](http://Effect of Mild Acid Hydrolysis Parameters on Properties of Microcrystalline Cellulose | Vanhatalo | BioResources(ncsu.edu)) [viitattu 28.9.2021].

Djalal Trache, M. Hazwan Hussin, Caryn Tan Hui Chuin, Sumiyyah Sabar, M.R. Nurul Fazita, Owolabi F.A. Taiwo, T.M. Hassan, M.K. Mohamad Haafiz. 2016. Microcrystalline cellulose: Isolation, characterization and bio-composites application – A review. *International journal of biological macromolecules*.

Stenius, P. 2000. Papermaking science and technology. Book 3. Forest products chemistry. Helsinki: Fapet Oy.

Vanhatalo, K. 2017. A new manufacturing process for microcrystalline cellulose (MCC). Aalto Yliopisto. Department of bioproducts and biosystems. Väitöskirja. Saatavissa: [A new manufacturing process for microcrystalline cellulose \(MCC\) \(aalto.fi\)](http://A new manufacturing process for microcrystalline cellulose (MCC)(aalto.fi)) [viitattu 28.9.2021].

# MITTAUSTEKNIKOIDEN SOVELTAMINEN STANDARDIN MUKAISISSA PINNANLAADUN MITTAUKSISSA

Jani Lecklin & Juho Peura

Asiasanat: viilu, vaneri, laserskannaus, pinnankarheus, aaltomaisuus

Opinnäytetyö tehtiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Mikopolis-tutkimusyksikön toimeksiannosta, ja siinä vertailtiin koivu- ja kuusiviilun aaltoilun ja pinnankarheuden mittaamisessa käytettävien standardien mukaisten sekä soveltavien menetelmien avulla saatuja tuloksia toisiinsa ja analysoitiin, miten ne korreloivat keskenään. Tavoitteena oli tulosten avulla selvittää, olisiko pinnanmuotojen mittaamisessa mahdollista saada hyödyllisiä tuloksia myös käyttämällä soveltavia menetelmiä. Kysymyksenä on mahdollinen mittaustekniikan kehittäminen erityisesti vanerin tuotannon näkökulmasta.

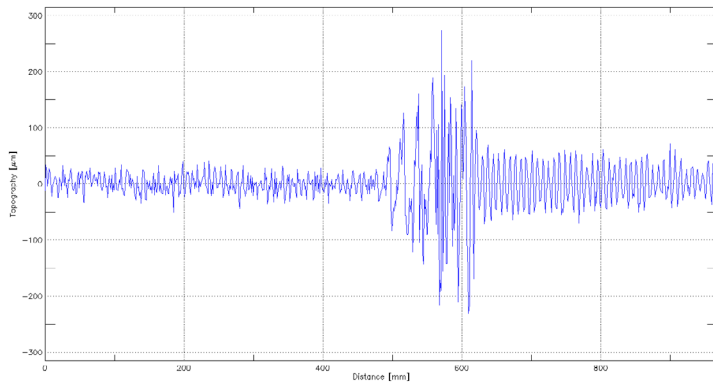
Pinnankarheus eli aritmeettinen keskipoikkeama on pinnan ominaisuus, joka kuvaa pinnan pieniä epätasaisuuksia. Karheudessa käytetään yleisesti lyhennettä Ra eli roughness average. Pinnankarheudella on merkitystä vanerin jälkikäsitteilyn onnistumisen kannalta, ja sillä on vaikutusta kappaleen ulkonäköön, kitkaan ja kulumiseen. Pinnaltaan sileä kappale on helpompi pitää puhtaana eikä se kerää epäpuhtauksia. (Astro Pak Corporation 2020.) Pinnankarheutta suurempaa epätasaisuutta voidaan kutsua aaltomaisuudeksi, muotovirheiksi, kolhuiksi ja naarmuiksi. Aaltoilu viilussa vaikeuttaa vanerin jatkotyöstöä ja heikentää sen laatua. Viilun aaltomaisuutta aiheuttaa ensisijaisesti liian harva sorvaus, viilun kuivaaminen liian kuivaksi, kuivaajan pysähtyminen tai kuiva ilma. Kuivaajan operaattorin tulee huolehtia, että uunissa kosteustasapaino säilyy ja lämpötilat ovat oikeat. Näitä asioita useimmiten hoitaa automatiikka, mutta esimerkiksi uunin pysähtyessä vettä on lisättävä. Viilun aaltoilu johtuu myös puun tiheyseroista esimerkiksi kevät- ja kesäpuun välillä tai viilun eri osien kosteuseroista, joka voi aiheuttaa myös viilun halkeilua. Aaltoilu voidaan siis estää myös tekemällä sorvaus ja kuivaus oikeaoppisella tavalla, ja ladonnassa tapahtuvan liimauksen onnistumisen kannalta on siis oleellista, että viilu on tasaista eikä sen kosteus ylitä asetettuja raja-arvoja. Suomen vaneriteollisuudessa noudatetaan kosteuspitoisuuksien sallittua vaihteluväliä. Koivuviilulla raja on 0–10 %, 1,5 mm paksulla kuusiviilulla 0–6 % ja yli 2 mm paksulla kuusiviilulla 0–8 %. (Koponen 1995.)

Vanerin tuotannon laadun kehityksen näkökulmasta merkityksellistä on viilun pinnanmuotojen mittaustekniikan parantaminen sen helpottamiseksi ja tehostamiseksi, jolloin voidaan parantaa tuotannon kustannustehokkuutta, kun hävikkiraaka-aineen määrä vähennee. Tavoitteena olisi kehittää mittaustekniikkaa niin, että suurillekin viiluarkeille voitaisiin tehdä pinnankarheuden ja aaltomaisuuden mittauksia, joista saadaan tarkkaa mittaustietoa helposti ja nopeasti ja mittaamisprosessi kokonaisuudessaan myös nopeutuisi. Tämän avulla myös pinnanmuotojen virheet tulisivat paremmin esille ja niiden aiheuttamiin ongelmiin voitaisiin puuttua nopeammin.

## MITTAUKSET

Eri mittausten menetelminä käytettiin erityisesti pinnankarheuden ja aaltomaisuuden mittaamiseen tarkoitettua stylus-mittalaitetta sekä 3D-profilometriä ja kokeiluluontoisina menetelminä työntömittaa, Artec Eva -käsiskanneria sekä CNC-konetta. Eri menetelmien tuloksia vertailtiin FRT-ohjelmassa, joka laskee pinnankarheuden ja aaltomaisuuden mittaustietoa hyödyntäen standardia SFS-EN 4287.

Alla olevien kuvien 1 ja 2 mukaiset karheus- ja aaltoprofiilit saatiin CNC-koneeseen liitettyllä Scantech-laserskannerilla noin 1000 x 650 mm kokoisesta koivuviilukappaleesta. Kokonaisen viilunäytteen skannaus koostuu viilun pidemmän sivun suuntaisista viivoista, jotka ovat 10 mm etäisyydellä toisistaan. Näistä skannausviivoista valittiin ensimmäinen, joka alkaa nollasta pisteestä viilun vasemmasta alanurkasta. Suoralla oleva mittaustieto siirrettiin FRT-ohjelmaan.

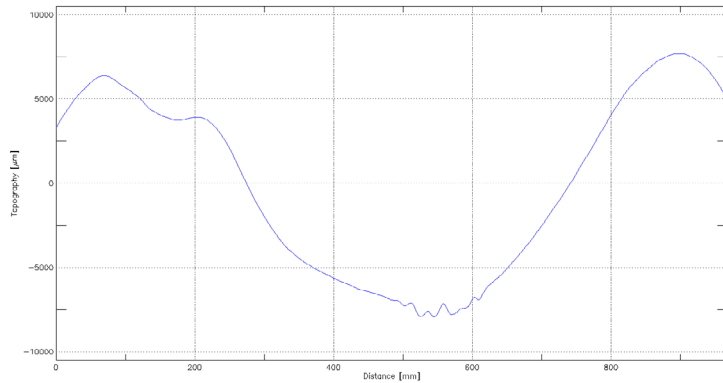


```

Surface parameters according to ISO 4287:
Lw = 0.000 µm, Lc = 15.000 mm
λ = [16.005 mm, 983.014 mm]
Ra: 28.261 µm
Rq: 44.412 µm
Rz (ISO): 433.768 µm
Rz (DIN): 246.417 µm
Rmax: 408.479 µm
Rg: 273.369 µm
RDr: 231.012 µm
Rr: 504.361 µm
Msk: -0.020
Rku: 10.750
RRe: 1.327 µm
Rk: 65.933 µm
Rpk: 67.061 µm
Rvk: 70.754 µm
Mrl: 14.147 %
Mrl: 67.162 %
V0: 4.908 µm³/mm²
Sarr(c): 0.124 % (with c = 1.600 µm)
Rmr(c): 0.075 % (with c0 = 5 %, c0-c1 = 0.2 µm)

Filtered data copied for further analysis |
    
```

**Kuva 1.** Karheusprofiili koivuviilusta FRT-ohjelmassa



```

Surface parameters according to ISO 4207:
Sc = 15.000 mm, Sf = 0.000 mm
x = [16.000 mm, 983.014 mm]
Wz: 4939.303 µm
Wp: 5354.237 µm
***
Wz(DIN):
Wz(DIN): 6021.527 µm
Wmax: 9740.532 µm
Wp: 7757.515 µm
Wv: 7697.774 µm
Wt: 18483.444 µm
Wsk: -0.009
Wku: 1.451
WRe: 0.010 °cm
WR: 11021.009 µm
Wpk: 0.000 µm
WpV: 5835.267 µm
***
WMr1:
WMr2: 62.311 °
WMD: 1056.177 µm²/mm²
WAr(c): *** (with c = 1.600 µm)
WAr: 5.002 % (with cu = 5 %, cu-cl = 0.2 µm)

Filtered data copied for further analysis !

```

**Kuva 2.** Aaltoprofiili koivuviilusta FRT-ohjelmassa

CNC-koneen, 3D-profilometrin ja stylus-mittalaitteen pinnankarheuden ja aaltomaisuuden mittaustarkkuutta verrattiin käyttämällä 100 x 100 mm kokoista kuusi- ja koivuviilukapaleita, joista valittiin karheampi ja sileämpi kohta. Nämä kohdat skannattiin näytteen reunasta reunaan yhdellä vedolla paitsi stylus-mittalaitteella, joka mahdollistaa maksimissaan 30 mm mittausmatkan. Näin ollen laitteella saadut aaltomaisuuden tulokset eivät ole muiden menetelmien tuloksiin verrannollisia. Alla olevassa taulukossa 1 vertaillaan saatuja pinnankarheuden ja aaltomaisuuden tuloksia.

**Taulukko 1.** Pinnankarheuden ja aaltomaisuuden tulokset 100 x 100 mm näytteistä

	CNC		Profilometri		Stylus	
	Karkea	Sileä	Karkea	Sileä	Karkea	Sileä
<b>Kuusiviilun pinnankarheus</b>	27.465 µm	24.255 µm	26.126 µm	24.044 µm	12.078 µm	24.330 µm
<b>Kuusiviilun aaltomaisuus</b>	337.077 µm	450.013 µm	304.929 µm	341.495 µm	0.523 µm	18.360 µm
<b>Koivuviilun pinnankarheus</b>	26.160 µm	13.894 µm	29.949 µm	18.287 µm	35.958 µm	19.348 µm
<b>Koivuviilun aaltomaisuus</b>	252.581 µm	61.315 µm	188.644 µm	69.094 µm	14.199 µm	14.862 µm



Stylus-mittalaitteen erot erityisesti pinnankarheuden arvoissa muiden menetelmien tuloksiin joissakin mittauskohdissa voivat johtua laitteen kärjen osumisesta näytteen pintaan. Mittausyrityksiä tehtiin useampia samasta kohdasta, ja muutoksia karheudessa näin ollen voi tulla. Laite onkin tarkoitettu enemmän kovien kappaleiden, kuten metallien, mittaamiseen. Aaltomaisuuden tulosten suurempaan vaihtelevuuteen CNC-koneen ja 3D-profilometrin välillä voi vaikuttaa viulun suoristuminen mittausten välillä.

## JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Vertaillen työssä käytettyjen mittausmenetelmien tuloksia päästiin johtopäätökseen, että CNC-kone pääsee mittaustarkkuudessa lähelle samoja tuloksia kuin stylus-mittalaite ja 3D-profilometri, jolloin kaikilla näillä menetelmillä mittaaminen on aivan yhtä mahdollista ja työn tavoite näin ollen saavutettiin. Käsiskannerin ja työntömitan kanssa ei kuitenkaan päästy pinnanmuotojen laskennan osalta hyödyllisiin tuloksiin. Käsiskannerin tyyppisellä mittausmenetelmällä olisi varmasti potentiaalia, kunhan löytyisi tapa, jolla mitatun datan saisi hyödylliseen muotoon. Skanneri voisi olla parhaimpia vaihtoehtoja tehtaalla tapahtuvaan mittaamiseen, koska laitetta voisi kantaa mukana. Skanneri mittaisi viiluarokin kokonaisuudessaan, josta saataisiin arkin pituus ja leveys sekä pinnankarheus ja aaltomaisuus. Tämän tyyppinen laite olisi lisäksi halvempi, eikä se ole rajoittunut mittaamaan vain pieniä näytekappaleita, toisin kuin esimerkiksi profilometri ja stylus-mittalaite. Stylus-mittalaite ei sen lisäksi ole kovin optimaalinen herkän puumateriaalin mittaamiseen, koska se naarmuttaa kappaleen pintaa. Näin ollen mittauksen olisi hyvä tapahtua optisesti tai laser menetelmällä.

## LÄHTEET

Astro Pak Corporation. 2020. What is roughness average? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://astropak.com/surface-roughness-average-ra/> [viitattu 9.9.2021].

Koponen, H. 1995. Puulevytuotanto. Saarijärvi: Gummerus Oy Kirjapaino.

# LÄMPÖTILAN JA LÄMMITYS- TEHON MALLINTAMINEN SUKITUKSEN KOVETTUMIS- PROSESSISSA

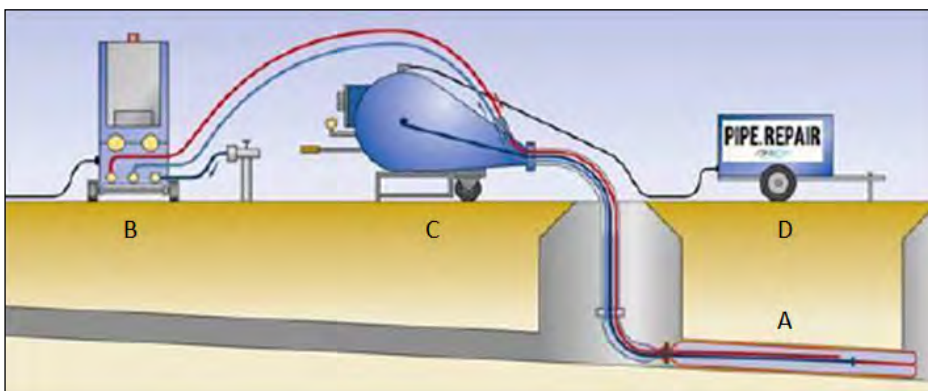
Jari Hartikainen & Petteri Järvelä

Asiasanat: Lämmönsiirto, konvektiivinen lämmönsiirtokerroin, sukitus, maaperä, CFD

Sukitusmenetelmä, tai puhekielessä sukitus, on viimeisen vuosikymmenen aikana yleistynyt nopeasti osaksi kiinteistöjen putkistojen korjausta Suomessa. Pääsääntöisiä kunnostuskohteita ovat viemäriputkistot, muiden putkistojen kunnostaminen sukittamalla on tähän asti ollut melko vähäistä. Sukitettavan putkiosan pituudet vaihtelevat 50 metristä puoleen metriin. /1./

Sukitusprosessin periaatteena on asentaa korjattavan putkiosuuden sisälle tyypillisesti 2-komponentti-epoksihartsilla kyllästetty polyesterihuopa, joka jonkin työaineen, yleensä paineistetun ilman, veden, vesihöyryn tai edellisten seoksen avulla puristetaan kunnostettavan putken sisäpintaa vasten. Epoksihartsin kovettuttua riittävästi voidaan työaine poistaa ja paine laskea normaalitasolle. Prosessin läpimenoaika on taloudellisesti oleellinen tekijä. Työssä käytettävän kaluston investointikustannukset voivat olla korkeat, ja työhön sitoutuu myös prosessin valvontaa suorittavaa henkilöstöä, jota ei aina voida hyödyntää muihin tehtäviin. Läpimenoajalla on yleensä työn tilaajalle suuri merkitys, mikä voi toimia työn suorittajan kannalta kilpailutekijänä. Myös käytettävän laitteiston koolla voi olla merkitystä. Pienempien ja kevyempien laitteistojen siirto voi olla nopeampaa ja edullisempaa esim. ajatellen tarvittavaa kuljetuskalustoa.

Sukitusprosessin läpimenoaikaan keskeisesti vaikuttava tekijä on epoksihartsin kovettumisnopeus. Tyypillisesti kovettumista pyritään nopeuttamaan tuomalla sukan sisään lämpöä. Lämpöä voidaan tuoda työaineen mukana joko lämmitettynä ilmana, vetenä tai höyrynä. Työaine syötetään sukan sisään putkiosan alkupäässä ja mahdollisesti kierrätetään sukan loppupäästä takaisin. Takaisin kierrätetty työaine lämmitetään ja syötetään takaisin sukkaan. Kierrätystä käytetään yleensä vain veden yhteydessä. Kuvassa 1 on esitetty eräs asennustilanne, jossa käytetään lämmitetyn veden kierrätystä /2, s. 5/.



**Kuva 1.** Asennusmenetelmä ja laitteisto /2/

## TAVOITE

Tehtävänä oli tutkia, voidaanko yksinkertaista tasapainotilan mallia käyttää mallintamaan sukan asennuksessa käytettävää lämmitysprosessia. Lisäksi oli tarkoitus ymmärtää lämmitysprosessiin osallistuvia fysikaalisia ilmiöitä sekä niihin vaikuttavia tekijöitä. Tasapainotilan malli olettaa lämmitysprosessiin tarvittavan tehon olevan vakio. Alalla on jo kuitenkin kokemuksen perusteella ymmärretty, että lämmitysprosessin alussa tarvitaan esilämmitysvaihe sukan lämpötilan nostamiseksi halutulle tavoitetasolle. Esilämmitysvaiheen käyttäytymistä ei ole kuitenkaan systemaattisesti tutkittu. Tavoitteena olikin saada työn avulla myös tutkimusperäistä tietoa esilämmitysvaiheen käyttäytymisestä.

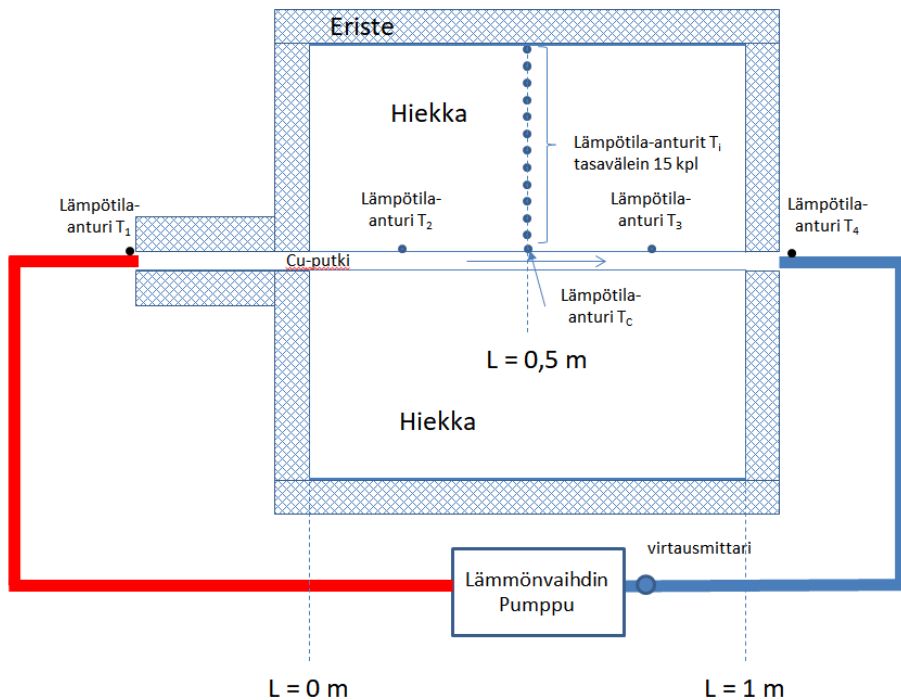
## MENETELMÄ

Fysikaalisiksi ilmiöiksi tunnistettiin virtaavasta nesteestä sukan seinämän läpi maaperään tapahtuva konvektiivinen lämmönsiirto sekä maaperässä tapahtuva lämmön johtuminen. Työ aloitettiin perehtymällä tehtävään liittyvään kirjallisuuteen. Havaittiin, että suoraa työtä tukevaa tutkimustietoa ei alalta ollut löydettävissä. Vastaavia ilmiöitä on kuitenkin tutkittu laajasti muilla aloilla, mm. öljyteollisuuden maanalaisissa putkistoissa, lämpöpumppujärjestelmien porakaivoissa sekä kaukolämpöverkoissa. Näiltä aloilta löydettiin hyviä lähde- ja lähdeteoksia työn tueksi.

Tasapainotilan mallin arviointia varten tarvittiin mahdollisimman hyvä käsitys todellisesta lämmitystehon ja lämpötilan käyttäytymisestä. Työssä jouduttiin tarkastelemaan aikariippuvia yhtälöitä lämmön siirtymiselle ja johtumiselle. Näiden soveltaminen olisi johtanut osittaisdifferentiaaliyhtälöihin, joiden ratkaisuja olisi ollut hyvin työlästä käyttää. Tämän vuoksi matemaattiseksi malliksi valittiin vain osaratkaisun tuottava malli /3/. Viime aikoina virtauslaskennan simulointityökalut ovat kuitenkin kehittyneet tietokoneiden

laskentatehojen kasvaessa niin pitkälle, että niillä on mahdollista menestyksellä täydentää matemaattisia malleja. Työhön valittiin Ansys Fluent -simulointiohjelma. Lisäksi suunniteltiin ja rakennettiin mittausrakennelma, jolla rakennetun simulaatiomallin verifiointi ja validointi oli tarkoitus tehdä.

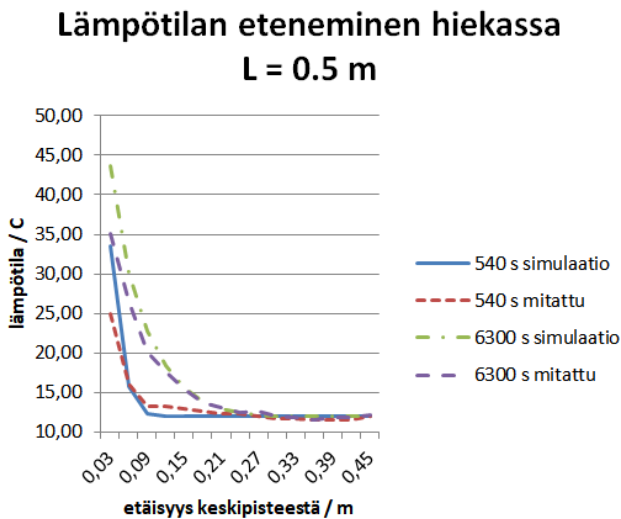
Työn edetessä havaittiin, että valittuja malleja ei voida niiden rajallisuuden vuoksi toteuttaa vastaamaan todellista asennustilanteen järjestelyä. Tämän vuoksi valittiin mallien pohjaksi yksinkertaisempi geometrinen rakenne. Lisäksi maaperän ominaisuuksia yksinkertaistettiin huomioimalla ainoastaan maaperän termiset ominaisuudet. Näiden avulla saatiin malleista kuitenkin riittävästi tietoa tasapainotilan mallin käyttökelpoisuutta arvioitaessa. Lisäksi voitiin helpommin verrata eri malleilla saatuja tuloksia toisiinsa. Mittausjärjestely toteutettiin työn tilaajan tiloissa. Kuvassa 2 on esitetty mittausrakennelman periaate.



**Kuva 2.** Mittauslaitteiston periaate (kuva: Jari Hartikainen)

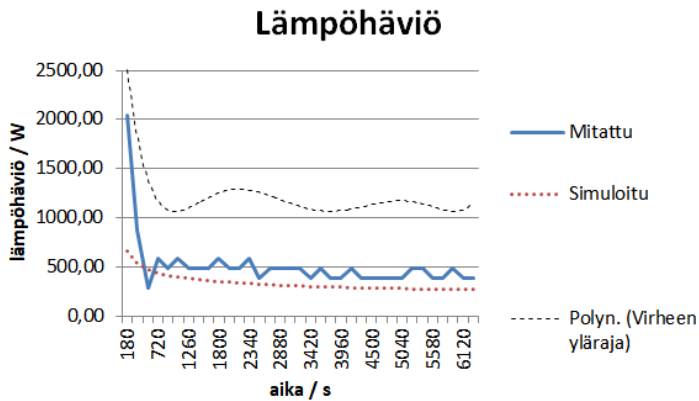
## TULOKSET

Vaikka matemaattinen malli olikin rajoittunut, sillä voitiin arvioida lämpötilan tunkeutumissyvyyttä maaperässä. Tämä oli oleellinen tieto simulaation ja mittausjärjestelyn suunnittelussa ja toteutuksessa. Lämmitysprosessin ajalliselle kestolle annetaan tyypillisesti tavoite. Matemaattisella mallilla voitiin arvioida, kuinka kauas putken ulkopuolelle lämpötilan vaikutus etenee maaperässä annetussa tavoiteajassa. Havaittiin, että lämmön johtumisen vaikutus rajoittuu suhteellisen lähelle putken ympäristöä. Tällöin laskennassa ei tarvitse huomioida maaperästä poikkeavia rakenteita tai häiriötekijöitä, esim. rakennuksen pohjalaattaa tai maan pintaa. Kuvassa 3 on esitetty simulaation tuloksena saatu lämpötilan eteneminen hiekassa etäisyyden funktiona verrattuna mittaustuloksiin.



**Kuva 3.** Lämpötilan eteneminen hiekassa mitattu vs. simulaatio (kuva: Jari Hartikainen)

Kuvassa 4 esitettyjä mittaustuloksia tarkastellessa huomattiin, että valitun lämpötilamittarin erottelukyky ei ollut riittävän hyvä. Lisäksi mittausjärjestelyssä käytetyssä veden kierrätys- ja lämmityslaitteistossa ilmeni satunnaisia häiriötilanteita, varsinkin mittausjakson alkuhetkillä. Näiden ongelmien vuoksi simulaatiomallin numeerista validointia ei saatu luotettavasti tehtyä. Mitattu lämmitysteho oli hieman simuloitua suurempi. Lämpötila-anturien sijaintia jouduttiin mittausten aikana siirtämään kauemmas alkuperäisestä mittauskohdasta, mikä mahdollisesti kasvatti mitattua lämpötilaeroa ja laskettua lämmitystehoa. On myös mahdollista, että maaperän lämmönjohtavuudelle käytettiin liian konservatiivista arvoa, mikä olisi pienentänyt simulaation tuloksia. Lämmitysteho ja lämpötilan eteneminen maaperässä käyttäytyivät kuitenkin kaikissa malleissa hyvin samankaltaisesti. Täten voitiin todeta, että simulaatiomalli pystyttiin ainakin verifioimaan.



**Kuva 4.** Mitattu ja simuloitu lämpöhäviö (kuva: Jari Hartikainen)

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tuloksena havaittiin, että tasapainotilan mallia ei voida varauksetta käyttää lämmitysprosessin mallintamiseen. Lämmitystehon suurempi tarve prosessin alussa on huomioitava. Tässä työssä saavutettiin hyvä ymmärrys lämmitysprosessiin osallistuvista fysikaalisista ilmiöistä ja niihin vaikuttavista tekijöistä, mutta jatkotutkimuksia kuitenkin tarvitaan. Tämän tuon tuloksena rakennettua simulaatiomallia voidaan hyödyntää jatkossa, joskin sen toimivuus saattaa olla syytä tarkastuttaa. Koska tässä työssä jouduttiin käytännön syistä rajoittamaan putken halkaisija pieneksi, on simulaatioita seuraavassa vaiheessa ajettava todellisilla putken dimensioilla. Lisäksi simulaation geometriseen rakenteeseen on lisättävä putki, jonka materiaalin olisi termisiltä ominaisuuksiltaan oltava mahdollisimman lähellä epoksihartsilla kyllästettyä sukkaa, esim. muoviputki. Tulevissa simulaatioissa voidaan myös vaihdella maaperän ominaisuuksia.

## LÄHTEET

/1/ Peltonen, I. Toimitusjohtaja. Haastattelu 15.1.2021. NF Sukitus Oy.

/2/ Method Statement – Sanikom Lining System. Sencur, Slovenia: Sanikom d.o.o. 2016

/3/ Nallapaneni, S. & Beck, J.V. Hollow cylinder with heating trough convection at inner radius and insulated at outer radius. Exact Analytical Conduction Toolbox. PDF-dokumentti. 2014. Saatavissa: <https://mme-exact.unl.edu/contents/equation/88> [viitattu 19.4.2021].

# DATA-ANALYTIIKAN SOVELTUVUUS KIINTEISTÖJEN YLLÄPITOON KYS PUIJON SAIRAALASSA

Reetta Turtiainen & Johanna Arola

Asiasanat: data-analytiikka, kiinteistöjen tehokkuus, analysointiohjelma, energiatehokkuus

Kiinteistö- ja rakennusautomaatioala elää nopean kehittymisen aikaa, kun erilaiset kiinteistötehokkuuden analysointiohjelmat ovat yleistymässä. Analytiikka jalostaa rakennuksien perinteisen seurannan läpinäkyväksi ja älykkääksi tietojohdamisen avulla ja vie sen kokonaan uudelle tasolle. Analytiikan avulla hallitaan talotekniikan ja automatiikan tuottamaa tietomassaa, ns. big dataa, ja optimoidaan tiedon avulla talotekniikan toimivuutta sekä autetaan kiinteistön ylläpitoa tekemään järjestelmiin oikeat toimenpiteet etupainotteisesti ja tarvelähtöisesti. (Pelto-Timper 2018, 8–10; Navigator analytiikka 2018, 4–5.) Ratkaisuilla haetaan kiinteistöille yleensä ennakoitavuutta, resurssitehokkuutta, pidempää elinkaarta ja parempaa energiatehokkuutta rakennuksien perinteiseen seurantaan verrattuna. Käyttäjien näkökulmasta ratkaisuilla haetaan tilojen viihtyisyyttä, terveellisyyttä tai tehokkuutta tilojen käyttöön. (Ranta-Mayer 2019, 18.)

## ANALYSOINTIOHJELMAN HYÖDYNTÄMINEN KIINTEISTÖN YLLÄPIDOSSA

Pohjois-Savon sairaanhoitopiirin kiinteistöhallinto halusi tutkimuksella selvittää, saavutaanko Siemens Navigator -nimisen analysointiohjelman avulla hyötyä kiinteistöjen ylläpitoon KYS Puijon sairaalassa ja soveltuuko ohjelma juuri heidän tarpeisiinsa. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia kiinteistötehokkuuden analysointiohjelman tuottamia hyötyjä, mahdollisuuksia, haittoja ja riskejä kiinteistön ylläpidolle sekä ylläpitohenkilöstön käyttäjäkokemuksia analysointiohjelman käytöstä ja hyödyllisyydestä LVIA-järjestelmissä ohjelman koekäytön avulla. Ohjelmien käyttökokemuksista on suomenkielisessä tutkimuskirjallisuudessa niukasti tietoa, ja ohjelmien tuottama todellinen hyöty on vaikeasti todennettavissa ilman käyttökokemuksia. Tiedossa ei myöskään ole, miten analysointiohjelmat soveltuvat juuri sairaalakohteisiin, joissa on tavanomaisiin toimisto- tai liikerakennuksiin verrattuna

enemmän erikoistekniikkaa ja erilaiset olosuhdevaatimukset. Tutkimustulokset auttavat selkeyttämään ohjelman hyödyllisyyttä KYS Kiinteistöhallinnolle ja auttavat kiinteistöjohtoa tekemään päätöksen siitä, laajennetaanko ohjelman käyttö koskemaan muihinkin rakennuksiin. Tutkimuksesta on myös hyötyä alalle laajemminkin. Kokemusperäisestä tiedosta hyötyvät myös muut kiinteistöjenomistajat ja kiinteistöjen ylläpidosta vastaavat. Tutkimuksessa etsittiin vastausta seuraavaan pääkysymykseen: Saavutetaanko ohjelman avulla lisäarvoa KYS Puijon Sairaalan kiinteistöjen ylläpitoon? Pääkysymyksen lisäksi tutkimuksessa on käytetty seuraavia alakysymyksiä: Minkälaisia korjattavia toimenpiteitä ohjelma havaitsi ja miten ne jakautuivat järjestelmä tai vikatyypikohtaisesti? Minkälaisia vaikutuksia ohjelman havaitsemilla korjattavilla toimenpiteillä oli? Näkyykö rakennuksen energiankulutusraporteissa muutos ohjelman käyttöönoton jälkeen? Mitä hyötyjä, haittoja, mahdollisuuksia ja riskejä kiinteistötehokkuuden analysointiohjelma tuo KYS Puijon Sairaalan kiinteistöjen ylläpitoon? Millaiset olivat ohjelmaa käyttävien käyttökokemukset ohjelmasta ja siirrettävistä dataloggereista? Saavutettiin ohjelmalle asetetut tavoitteet?

## **KARTOITUKSESSA APUNA OHJELMAN LOKITIEDOT, ENERGIARAPORTIT JA HAASTATTELUT**

Tutkimusta varten Pohjois-Savon sairaanhoitopiiri liitatti kahden hallinnoimansa rakennuksen rakennusautomaatiopisteet Siemens Navigator -nimiseen analysointiohjelmaan. Samalla kiinteistöhallinnon sisäilmatyöryhmän käyttöön hankittiin kolme ohjelmaan yhteensopivaa sisäilman laatua mittaavaa siirrettävää mittausasemaa eli dataloggeria. Tutkimuksessa käytettiin sekä määrällistä että laadullista tutkimusmenetelmää, joiden tarkoituksena oli tukea toisiaan. Määrällisessä tutkimuksessa analysoitiin ohjelman hälytyslokitietoja ja rakennuksien energiaraportteja. Laadullisessa tutkimuksessa tutkimuskysymyksiin etsittiin syvällistä ja kuvailevaa vastausta ohjelmaa käyttäviltä tai hyödyntäviltä henkilöiltä teemahaastatteluiden avulla.

## **TEHOKKUUTTA JA MIELEKKYYTTÄ KIINTEISTÖN YLLÄPITOON**

Laadullisen tutkimuksen tuloksista voitiin päätellä, että ohjelma koetaan hyödylliseksi KYS Puijon sairaalan ylläpidolle. Haastatteleamalla saatiin selville enemmän ohjelman tuomia hyötyjä ja mahdollisuuksia kuin haittoja ja riskejä. Analysointiohjelma on nopeuttanut vikojen havainnointia ja auttanut ylläpitohenkilöstöä kohdistamaan huomion oikeisiin asioihin. Ohjelman avulla on löydetty myös sellaisia vikoja, joita olisi ollut muulla tavalla vaikea saada tietoon. Suurin osa haastateltavista kertoivat olevansa tyytyväinen ohjelmaan ja ohjelman nostaneen myös työn mielekkyyttä. Perusteluna työn mielekkyyden kasvamiselle mainittiin epä tietoisuuden pienentyminen, kun päätökset perustuvat oikeaan tietoon, sekä



työn helpottuminen ja nopeutuminen. Kaikki haastateltavat olivat yhtä mieltä siitä, että ohjelmasta on ollut myös apua IC1-rakennusosan käyttöön virittämässä.

Ohjelman käytön suurimpana riskinä pidettiin tiedon käyttämättä jättämistä esimerkiksi käyttäjän resurssipulan tai osaamisvajeen vuoksi. Tämän vuoksi resursseihin, osaamiseen ja ohjelman käytön toimintamalliin tulee kiinnittää erityistä huomiota. Ohjelman käyttö tulisi myös haastateltavien mielestä huomioida jo rakennushankkeiden suunnitteluvaiheessa määrittämällä ohjelman käytölle tavoitteet. Ohjelma koettiin helpoksi oppia, ja ohjelman käytön toimintamallit ja roolit koettiin selkeiksi ja toimiviksi. Ohjelmaa hyödyntävät käyttäjät antoivat haastattelussa silti parannusehdotuksia toimintamallin parantamiseksi.

Määrällisen tutkimuksen tuloksena selvisi, että suurin osa (90 %) tutkimusajankohdan kaikista häilytyksistä oli ei-toimenpiteitä vaativia. Niistä 65 % johtui virittämättömistä säännöistä ja 32 % ulkoisesta häiriöstä sekä 2 % systeemisistä ongelmista, jotka eivät kuitenkaan vaatineet toimenpiteitä. Vikatyypijaottelu on kuvattu tarkemmin taulukossa 1.

**Taulukko 1.** Ei-toimenpiteitä vaativien häilytyksien jaottelu

Häiriön luokitus	Lyhyt kuvaus häiriöstä
Ulkoinen häiriö	Esim. lyhytaikainen sähköhäiriö tai huoltotapahtuma
Virittämätön sääntö	Ohjelman säännössä on liian tiukat hystereesirajat, tai liian tiuha mittausväli, jolloin järjestelmä ei ehdi reagoimaan pyydettyyn arvoon tai pyydetty arvo poikkeaa vain vähän tavoitteesta.
Systeeminen ongelma	Väärin toimiva järjestelmä, jota ei kuitenkaan ole tarvetta korjata

Toimenpiteitä vaativat häilytykset, joita oli tutkimusajankohdalla kaikista häilytyksistä vain 10 %, johtuivat systeemisistä ongelmista (71 %) ja teknisistä ongelmista (29 %) Käyttäjälähtöisiä vikoja ei tässä tutkimuksessa havaittu. Tutkimuksen vikatyyppien luokittelu perustui Granlund Oy:n Teemu Hausenin Oulun energiaseminaarissa 2018 julkaiseman aineiston mukaiseen vikatyyppiluokitteluun, joka on kuvattu tarkemmin taulukossa 2.

**Taulukko 2.** Toimenpiteitä vaativien häilytyksien jaottelu (Hausen 2018)

Vikatyyppijaottelun nimi	Lyhyt kuvaus
Systeeminen ongelma	Viat, jotka johtuivat väärin toimivasta järjestelmästä.
Tekninen ongelma	Viat, jotka johtuivat rikkinäisestä tekniikasta.
Käyttäjälähtöinen virhe	Viat, jotka johtuivat käyttäjistä. Esimerkkinä käyttäjälähtöisestä virheestä on ilmanvaihtokoneelle pyydetty yksittäinen lisäaikapyyntö, joka on jäänyt vahingossa päälle.

Tutkimushetkellä havaituille toimenpiteitä vaativille hälytyksille arvioitiin olevan lukumäärällisesti eniten vaikutusta käyttäjätyytyväisyyteen (50 %), energiatehokkuuteen (22 %), seurattavuuteen (11 %), laitteiden ja järjestelmien käyttöikään (11 %), sekä huoltokäyntien määrään (6 %). Haastattelut vahvistivat myös tätä tulosta. Lisäksi haastattelemalla saatiin tietoon, että analysointiohjelma on vaikuttanut edellä mainitun lisäksi myös huollon resurssitehokkuuteen ja työn mielekkyyteen.

Kirjallisuuden väittämää rakennuksien energiatehokkuuden parantumisesta analytiikan avulla ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa onnistuttu todentamaan energiaraporttien avulla.

## TOIMENPITEET ANALYSOINTIOHJELMAN TEHOKKAAMPAAN KÄYTTÖÖN

Tutkimuksella onnistuttiin saamaan uutta ja kirjallisuutta täydentävää tietoa analysointiohjelmien käytöstä ja hyödyllisyydestä LVIA-järjestelmissä. Tutkimustuloksien perusteella työn toimeksiantajalle ehdotetaan seuraavia toimenpiteitä:

1. Sääntöjen muokkaus sairaalakohteeseen sopivammaksi turhien hälytyksien pienentämiseksi
2. Ohjelman käytön toimintamallin parantaminen
3. Ohjelman laajennus rakennushankkeiden yhteydessä
4. Analytiikkaohjelman tavoitteiden määrittely suunnitteluohjeeseen
5. Ohjelman hyödyntämismahdollisuuksien laajentamisen tutkiminen.

## JATKOTUTKIMUKSELLE ON TARVETTA

Tutkimustuloksia kiinteistötehokkuuden analytiikan käytön hyödyistä, keskimääräisistä kustannuksista, energiansäästövaikutuksista ja analytiikan käytön vaikutuksista huoltopyyntöjen määrään tarvitaan lisää. Tutkimustieto, joka on kerätty luotettavalla tavalla useista eri rakennuksista, auttavat kiinteistöjen ylläpitohenkilöstöä arvioimaan paremmin analysointiohjelmien hyödyllisyyttä tai perustelevaan paremmin ohjelman hankintaa ja investointia. Myös muutkin kuin taloudelliset hyödyt tulisi tutkimuksissa ottaa huomioon.

Alalle tarvitaan myös enemmän kokemuseräistä tietoa tarpeenmukaisesta huollosta ja laitteiden elinkaaren hallinnasta analytiikan avulla. Tietoa tarvitaan myös siitä, miten tarpeenmukainen huolto käytännössä toimii sairaalarakennuksissa tai muissa tavanomaisista toimisto- ja liikerakennuksista poikkeavissa rakennuksissa.

## LÄHTEET

Hausen, T. 2018. Digitaaliset Kiinteistöpalvelut. Granlund Oy. PowerPoint-dokumentti. Saatavissa:

<https://docplayer.fi/108479490-Digitaaliset-kiinteistopalvelut-oulu-energiaseminaari-tee-mu-hausen.html> [viitattu 29.9.2021].

Navigator analytiikka. 2018. Siemens Building technologies. Sisäinen dokumentti.

Pelto-Timperi, J. 2018. Älykäs ylläpito asettuu taloksi. Verkkoartikkeli. Sarlinin asiakaslehti 2/2018, 8–13. Saatavissa: <https://www.e-julkaisu.fi/sarlin/asiakaslehti/2-2018/> [viitattu 29.9.2021].

Ranta-Meyer, T. 2019. Korkeakoulukiinteistöstä älykampukseksi. Kiinteistötietomassojen hyödyntäminen sisäolosuhteiden ja energiatehokkuuden ennakoinnissa. Metropolia Ammattikorkeakoulun julkaisuja. TAITO-sarja 30. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/227538/2019-TAITO-30-korkeakoulukiinteistosta-alykampukseksi-ranta-meyer-toim.pdf?sequence=5> [viitattu 29.9.2021].

# KLAPIKUIVAAMON LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN JA ILMANVAIHDON SUUNNITTELU

Tero Kämppi & Anna Forsström

Asiasanat: (Polttopuun kuivaus, Klapien kuivaus, Klapi, Polttopuu)

Polttopuuta käytetään Suomessa pientalojen lämmittämiseen paljon, vuonna 2016/2017 lämmityskautena 4 667 000 m<sup>3</sup> (Luke 2020). Suurin osa pientalojen polttopuusta tehdään omasta metsästä tai kerätään esimerkiksi naapurin tai sukulaisen omistamalta metsäpalstalta sekä tehdään pihapuista.

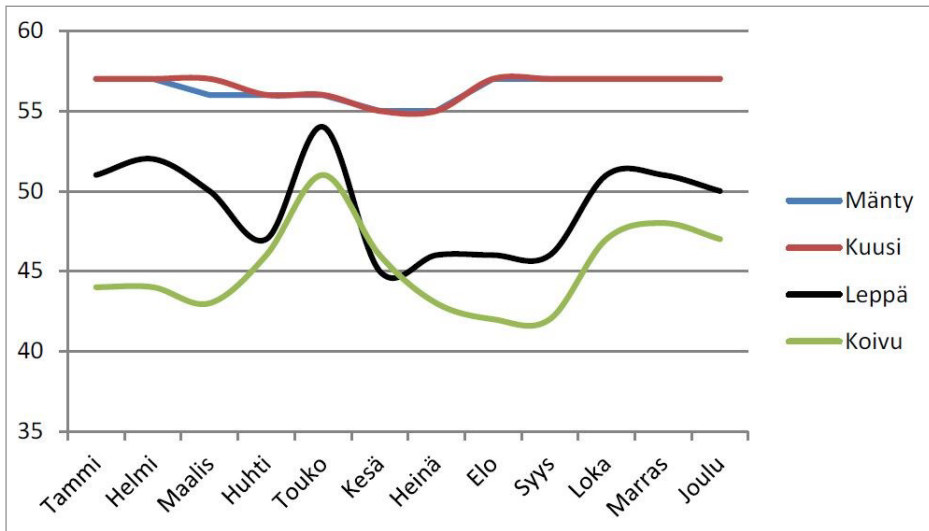
Ammattimainen polttopuun teko on ollut pitkään monella maatilalla sivuelinkeinona, ja laitteiden kehittyessä se on myös ammattimaistunut paljon. Nykyään on useita, ainoastaan polttopuuta valmistavia yrittäjiä, jotka hankkivat elantonsa ympärivuotisesti pelkästään polttopuun myynnillä. Tämä tarkoittaa useimmiten yli 1000 heittomotin vuosituotantoa. Koneellinen kuivaus on tällaisessa tapauksessa ainoa järkevä vaihtoehto, koska monella yrittäjällä ei ole taloudellisesti mahdollista – eikä edes kannattavaa investoida varastoihin, joihin pystyttäisiin kerralla valmistamaan riittävä määrä klapia koko vuoden myyntiä ajatellen. Lisäksi kausikohtaiset vaihtelut polttopuun menekissä ovat suuria, jolloin pitkä kuivausaika aiheuttaa tarpeettomia myyntitappioita, kun kysyntään ei pystytä vastaamaan.

## TAVOITE

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella Metsäyhtymä Kuuskulma avoin yhtiön rakentaman klapikuivurirakennukseen toimiva ja kustannustehokas kuivausjärjestelmä. Maatilalle on suunnitelmassa hankkia uusi hakelämmitysjärjestelmä, jonka yhteyteen tehdään myös varaus kuivurin patterille. Opinnäytetyössä selvitettiin kuivuriin tulevan lämmönsiirtojärjestelmän vaatima teho, jotta se osataan ottaa huomioon hakelämmitysjärjestelmää suunniteltaessa.

Polttopuun kosteus vaikuttaa sen lämpöarvoon, sillä klapiin sitoutunut vesi vaatii höyrystymiseen energiaa alentaen näin luovutettavan lämmön määrää. Klapit ovat polttokelpoisia, kun niiden kosteus on 15–25 % välillä. Höyrysuhte on suurempi, mitä kuivempaa puu

on. Eli kuivan puun palaminen on tehokkaampaa ja lämpöenergiaa luovutetaan enemmän. Elävän puun kosteus on riippuvainen vuodenajasta, kuva 1. Lehtipuilla vaihtelu on suurempi kuin havupuilla. Koivu on yleisin pilkepuu, ja sen kosteus vaihtelee vuodenajasta riippuen 36–50 %. Alimmillaan kosteus on loppukesällä, jolloin kasvukausi on täydessä vaiheessa – tällöin puussa on lehdet ja haihduttaminen on voimakasta. (Puupolttotoinen kuivuriopas 2014, 5–6; Puhakka ym. 2001, 5; Työteho-seura 1997, 28.)



**Kuva 1.** Vuodenajan vaikutus kosteuteen (Hillebrand K & Kouki J. 2006, Routa 2014)

## TUTKIMUSMENETELMÄT

Klapien kuivausta kokeiltiin pienessä mittakaavassa autotallissa, jossa on erillinen 5 metriä leveä ja 8 metriä pitkä kokoonpano/huoltotila. Koelaitoksen tarkoituksena oli testata ja etsiä mahdollisia ongelmakohtia kuivausjärjestelmän toteutuksessa, tutkia teorian toteutumista käytännössä sekä tutkia energian kulutusta ja sen jakautumista eri osa-alueisiin. Koelaitoksen avulla tehtiin myös varsinaista mitoitustyötä auttavat vertailulaskelmat, joilla pystyttiin skaalaamalla mitoitamaan varsinaisen kuivurin tehontarve ja kuivauskapasiteetti.

Puun kosteus mitattiin halkaisemalla satunnaisotannalla eri puolilta klapiakasaan kerätyt puut kahteen osaan ja syntyneen halkeaman pintaan työnnetään mittaussiikot. Tällä menetelmällä voidaan varmistua, että mahdollisesti pinnalta nopeammin kuivunut osa ei muuta mittaustulosta. Tuloksista laskettiin keskiarvo. Kuivauskoetta jatkettiin aloituspäivän lisäksi neljänä perättäisenä päivänä, mutta kuivaaminen jouduttiin lopettamaan 5. päivänä autotallin rakenteisiin kertyneen kosteuden takia. Kuvassa 2 on kuivausperävaunu ja puhallin asennettuna.



**Kuva 2.** Kuivausperävaunu ja puhallin (kuva: Tero Kämppi)

## KUIVAUSKOKEEN TULOKSET

Kuivauskokeessa tehtyjä havaintoja verrattiin laskennallisesti tehtyihin mittaustuloksiin Excel-taulukossa, ja niiden yhteneväisyyden perusteella voitiin kuivaamorakennukselle tehdä mitoitustyö skaalaamalla saatuja tuloksia ja laskemalla osa mittaustuloksista käänteisesti. Kuivauskokeessa tehtyjen havaintojen perusteella suunniteltiin kuivaamon layout, jossa kiinnitettiin huomiota ilman ohjaamiseen ja käyttäytymiseen. Kuivuri on alun perin suunniteltu kylmäilmakuivuriksi, johon tuodaan puhallusilmaan lisälämpöä vanhalla viljankuivausuunilla. Suunnitelma päädyttiin kuitenkin toteuttamaan kertatäyttöisen sahatarakuivurin periaatteella, koska rakenne soveltuu tiiveytensä takia siihen ja kaikkea lämpöä ei tarvitse tällöin puhaltaa saman tien rakennuksesta ulos. Lämmitystehontarpeen mitoitusta varten selvitettiin rakennuksen seinien ja katon sekä yläpohjan u-arvot käyttäen hyväksi rakennepiirustuksia sekä haastatteleamalla kuivaamorakennuksen omistajaa.

Näitä tietoja hyväksikäyttäen laskettiin rakenteiden u-arvot. Kun tiedettiin rakenteiden U-arvot, pystyttiin laskemaan kuivausrakennuksen lämmitystehontarpeen kuivaushetkellä.

Ilmankierron suunnittelu aloitettiin päättämällä ilman virtaussuunta ja laskemalla tarvittavan kiertoilman määrä. Laskennassa hyödynnettiin koelaitoksessa tehtyjä laskelmia ja niistä johdettua laskenta-Excel-laskentataulukkoa.

## KUIVAUSKOKEEEN TULOKSET

Opinnäytetyön tuloksena saatiin toteutuskelpoinen suunnitelma kuivurin toteuttamiseksi. Työssä nousi myös esiin kysymys, onko polttopuiden kuivaaminen koneellisesti taloudellisesti järkevää. Kun ajatellaan, että kuivaamorakennuksessa tarvittavan lämmön ylläpitämiseksi kuluu jonkin verran lämmitysenergiaa ja itse kuivaaminen vaatii myös suuren määrän energiaa, vaikuttaa se polttopuun valmistuskustannuksiin merkittävästi. Toisaalta talvella kysynnän ollessa suurta myös polttopuun hinta on parempi, ja silloin olisi hyvä pystyä vastaamaan kysyntään. Lisäksi koneellisen kuivauksen ehdoton etu on laadun tasaisuus verrattuna luonnon kuivauksella tehtävään polttopuiden kuivaamiseen, jolloin voidaan olettaa, että suurempi osa kuivista puista on myyntikelpoisia ns. täydellä hinnalla.

Jatkokehittelynä kuivuriin olisi hyvä suunnitella vielä aurinkokeräimellä toimiva ilman esilämmitysjärjestelmä, jolloin korvausilman lämmittämiseen ei kuluisi niin paljon energiaa. Myös kiertoilmaa voisi mahdollisuuksien mukaan lämmittää osittain auringon avustuksella. Lisäksi kuivaamon lastaaminen ja tyhjentäminen ovat asioita, mihin todennäköisesti tarvitsee kiinnittää paljon huomiota.

## LÄHTEET

Luke. 2020. Pientalojen polttopuu maakunnittain ja polttopuulajeittain. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Pientalojen polttopuu maakunnittain ja polttopuulajeittain muuttujina lämmityskausi, maakunta, yksikkö ja polttopuulaji. PxWeb \(luke.fi\)](#) [viitattu 30.3.2020].

Heiskanen, V.E., Kouki, J., Vuorio, K., Maunula, L., Vilkkilä, H., Nuutinmäki, P., Koisti, O.-P., Lappi, M. & Kauppinen, V.-P. 2014. Puupolttoaineen kuivuriopas. Suomen metsäkeskus.

Hillebrand K & Kouki J. 2006, Pilkkeen kuivaus- luonnonkuivaus, keinokuivaus ja laadun hallonta. Työtehoseuran julkaisu 398

Pirinen, H. 1997. Polttopuuopas omakotitaloille. Työtehoseura.

# OPISKELIJOIDEN KANSAIN- VÄLISEN LIKKUVUUDEN PARANTAMINEN DIGITAALISUUDEN AVULLA

Lauri Smeds & Juha Korpijärvi

Asiasanat: palvelumuotoilu, digitalisaatio, kansainvälisyys, palvelupolku

## TAUSTA JA AIHE

Maaailma digitalisoituu ja kansainvälistyy kovaa vauhtia, ja etäisyydet kutistuvat olematomiin kehittyvän teknologian ja nopeutuvien verkkoyhteyksien ansiosta. Yhteydenpito maailman toiselle laidalle on entistä helpompaa ja vaivattomampaa. Osittain opiskelussa ja työelämässä fyysisellä sijainnilla ei ole enää suurta merkitystä – voi opiskella ja tehdä töitä ajasta ja paikasta riippumatta.

Opinnäytetyö on osa Xamk:n kolmivuotista, kansainvälistä yhteistyöprojektia, jonka tarkoitus on parantaa opiskelijoiden kansainvälistä liikkuvuutta digitaalisuuden avulla. Projektissa ovat mukana Xamk, Boise State University, Hallym University ja Bielefeld University of Applied Sciences. Opinnäytetyön taustalla ovat yhteistyöyliopistojen kansainvälisten prosessien kehittäminen, opiskelijoiden valmistaminen työelämän haasteisiin ja kansainvälisen liikkuvuuden helpottavien tekijöiden parantaminen. Digitalisoinnin ja kansainvälisyyden synergiaan on kiinnitetty suhteellisen vähän huomiota, vaikka vuorovaikutus näiden kahden osatekijän välillä johtaisi merkittäviin etuihin. (Digital Mobile @ FH Bielefeld 2019.)

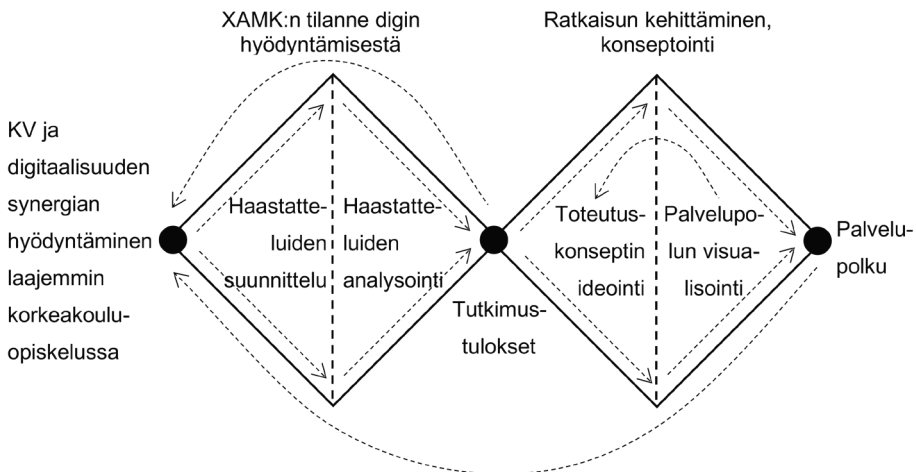
Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää kansainvälisyyden ja digitaalisuuden muodostaman synergian kehityskohteita, joiden parantaminen auttaa hanketta toteuttamaan digitaalisesti tuetun opintokokonaisuuden. Opintokokonaisuuden pyrkimyksenä on kehittää tieteiden välistä yhteistyötä, virtuaalista yhteistyötä kulttuurienvälisissä ryhmissä, itsekoordinointia ja projektin johtamista, oppimista toisiltamme ja keskittymistä tosielämän perustuviin suunnitelmiin. Opintokokonaisuuden tarkoitus on myös valmistaa mahdollisimman hyvin opiskelijat työelämän moniarvoisuuteen ja ammatilliseen pätevytyteen sekä vahvistaa sosiaalisia kykyjä että kansainvälistä siirtymistä yhteistyöyliopistojen välillä. (SUMMARY of FH Bielefeld's proposal for the project: "Digital Mobile@FH Bielefeld" 2019.)



Opinnäytetyöhön sisältyi palvelumuotoiluprosessi, joka nosti esiin kehityskohteita uutta kansainvälistä opetussuunnitelmaa varten. Palvelumuotoiluprosessin ideoinnissa ja visualisoinnissa työkaluna käytettiin tuplatimanttia. Tutkimuksen teoreettinen viitekehys rakentui kansainvälisen liikkuvuuden, digitaalisen opiskelun ja opintojaksojen kehitysprosessin osatekijöistä maisteritutkinto-opiskelussa. Nämä kolme osatekijää vaikuttavat toisiinsa. Näiden kolmen isomman osatekijän summana muodostui tutkimuksen korkeakouluopiskelijoiden kansainvälisen liikkuvuuden parantaminen.

## MENETELMÄ

Opinnäytetyö tähtäsi toteutuskonseptin luomiseen. Opinnäytetyön eteneminen on esitetty tuplatimantti-mallina (kuva 1). Työssä keskityttiin kysymykseen, millaisiin asioihin tulisi kiinnittää huomiota, jotta kansainvälisyyden ja digitalisuuden synergiaa voitaisiin hyödyntää laajemmin korkeakouluopiskelussa.



**Kuva 1.** Opinnäytetyön eteneminen (Smeds 2021)

Ensimmäisessä vaiheessa tehtiin neljä teemahaastattelua, joiden avulla kartoitettiin Xamk:n nykytilanne digitaalisuuden hyödyntämisestä kansainvälisessä opiskelussa. Haastattelukysymykset muodostuivat teoreettisen viitekehysten pohjalta. Haastateltavat kertoivat kokemuksestaan ja toiveistaan teknologian hyödyntämisestä opetustyössä, etäopetukseen siirtymisestä pandemian aikana ja digitalisaation hyödyntämisestä kansainvälisessä opetuksessa. Haastatteluaineistoa täydensi Xamk:ssa järjestetyn kansainvälisen verkkokurssin havainnointi.

Seuraavassa vaiheessa aineisto analysoitiin teoriaohjaavalla sisällönanalyysillä. Haastatteluilla saadun aineiston perusteella pyrittiin ymmärtämään, miten haastateltavat kokevat

digitaalisuuden ja kansainvälisyyden yhteistoteutumisen Xamk:n opetuksessa. Samalla kartoitettiin, mihin asioihin tulisi kiinnittää huomiota, jotta synergiaa olisi mahdollisuus hyödyntää laajemmin. Analyysista nousseiden tulosten pohjalta Xamk:n tilanne digitaalisuuden ja kansainvälisyyden sekä opintojaksojen kehitysprosessin osalta selkiytyi kokonaisuudeksi, jolloin alkuperäisen kysymyksen pystyi määrittämään uudestaan ja tarkemmin. Tulokset vastasivat kysymykseen, miksi synergiaa ei ole hyödynnetty laajemmin, vaikka siinä on paljon mahdollisuuksia.

Tulosten pohjalta kolmannessa vaiheessa ideoitiin ratkaisumalleja, jotka mahdollistavat synergian hyödyntämisen laajemmin. Ideoinnissa hyödynnettiin haastatteluista saatua asiakasymmärrystä. Lopuksi rajattiin ratkaisuvaihtoehtoja sen mukaan, mitkä vastaavat tutkimuksen tavoitteeseen opiskelijoiden kansainväliseen liikkuvuuteen digitaalisuuden avulla. Ratkaisuideoita peilattiin hankkeen asettamiin tavoitteisiin uudelta opetussuunnitelmalta.

Toteutuskonseptin visualisoinnissa käytettiin palvelumuotoilusta tuttua palvelupolku-/suunnitelmaa. Visualisointi tehtiin opiskelijan näkökulmasta. Palvelupolussa tulee esille myös Xamk:n henkilökunnan, opettajien ja yhteistyökumppaneiden roolit sekä toiminnot koulutuksen eri vaiheissa. Palvelupolku luotiin tutkimustulosten pohjalta ja kuvaa kokonaisuudessaan opiskelijan opiskelun valmistumiseen saakka.

## TULOKSET

Aineiston tulosten perusteella Xamk:ssa digitaalisuutta hyödynnetään vähässä määrin kansainvälisessä opiskelussa ja opetuksessa, vaikka puitteet siihen ovat olemassa. Tutkimuksesta selvisi, miten eri organisaation tasot ja yksiköt käyttävät digitaalisuutta eri opetustilanteissa hyödyksi. Aineistosta oli havaittavissa selvästi, että kansainvälisyyden ja digitaalisuuden synergian suurempaan hyödyntämiseen vaikuttaa lähtökohtaisesti kaksi keskeistä asiaa: kuinka digitaalisuus on ylipäänsä otettu käyttöön koulutuksissa, opetuksessa ja opiskelussa ja millaiset lähtökohdat sekä perinteet kansainväliselle yhteistyölle on muotoutunut ajan saatossa. Ennen kuin näitä kahta asiaa voidaan yhdistää toisiinsa, ne vaativat tarkastelua perustasolta asti. Ovatko teknologia, pedagogiset valmiudet ja digitaidot sekä yhteistyökuviot riittävällä tasolla digitaaliseen kansainvälisyyteen siirryttäessä?

Yhteistyö kansainvälisten korkeakoulujen kanssa verkko-opiskelun puitteissa vaatii ensin fyysistä yhteistyötä. Tutkimusaineistosta selvisi, että kansainvälisyys toteutuu tällä hetkellä pääasiassa perinteisenä vaihto-opiskeluna, jossa opiskelija matkustaa kohdemaahan opiskelemaan. Maailmanlaajuisen koronapandemian aikana on enemmän alettu suunnittelemaan ja osittain toteutettu kansainvälistä opetusta digitaalisesti. Pandemia on nopeuttanut siirtymistä digitaaliseen opetukseen, mihin oli osittain jo suunnitelmat valmiina.

## DIGITAALISUUS OPINTOJAKSOJEN KEHITTÄMISESSÄ

Haastatteluiden pohjalta kävi ilmi, että digitaaliseen opetukseen siirtyminen vaatii oman aikansa. Vaikka puitteet ja resurssit olisivatkin kunnossa, siirtyminen ei tapahdu itsestään. Digitaaloja pidetään helposti itsestäänselvyytenä digitalisoituvassa maailmassa, jossa puhutaan diginatiiveista lapsista ja nuorista. Toisille teknologia voi olla vieras ja aiheuttaa vastahakoisuutta. Täytyy huomioida kaikkien osapuolien tietoteknisten taitojen taso. Opettajia tuetaan ja koulutetaan digitaaliseen opetukseen, mutta uusien asioiden omaksumiseen täytyy varata oma aikansa. Aika, jota kukin tarvitsee, riippuu jokaisen yksilön halusta oppia ja kehittää digitaalojaan. (Jungner 2015, 7.) Digitaalisuuteen voidaan mennä asia kerrallaan ja toteuttaa kokeilukulttuurilla erilaisia verkkototeutuksia, joihin Xamk:ssa opettajia kannustetaan ja rohkaistaan. Xamk:ssa on otettu käyttöön ns. hybridiopeutus digitaalisuuteen siirtymisessä. Siinä opetus toteutetaan yhtäaikaaisesti lähi- ja etäopetuksena. Jotkin koulutukset on siirretty pandemian takia lähes kokonaan verkkoon, mutta kaikki koulutusalat eivät sovellu verkko-opetukseen. Ihan kuin kaikissa muissakin asioissa, myös digitaidot kehittyvät käytännön harjoittelulla luonnostaan.

Tällä hetkellä Xamk:ssa kaikkiin opintoihin liittyy tavalla tai toisella digitaalisuus, johon ollaankin valtakunnallisesti siirtymässä enenevässä määrin (Valtioneuvoston kanslia 2015, 36). Opettajat ja opiskelijat käyttävät samoja digitaalisia ympäristöjä. Aineistoa jaetaan opiskeluun liittyen digitaalisesti, vaikka opinnot toteutettaisiin lähiopetuksena fyysisessä tilassa. Ohjelmat, alustat ja sovellukset, joita käytetään, ovat yleisesti helposti saatavilla ja käyttäjäystävällisiä. Xamk:n etäopetuksessa käytetään maailmallakin yleisesti käytössä olevia virtuaalisia luokkahuoneita, kuten Microsoft Officeen Teams ja Adobe Connect. Ohjelmien palveluntarjoajan valinta riippuu opettajasta; mikä palvelee parhaiten opettajaa ja opetustilannetta. Ohjelmista löytyi yhteys myös työelämään, sillä yrityksetkin käyttävät näitä samankaltaisia ohjelmia etäkokouksien ja -palavereiden järjestämiseen helpon saatavuuden ja yleisen tunnettuuden vuoksi.

## DIGITAALINEN KANSAINVÄLISYYS

Xamk:ssa digitaalisuuden mahdollisuuksia on hyödynnetty kansainvälisessä toiminnassa jonkin verran. Joillakin aloilla on pandemian aikana järjestetty teemaluentoja perinteisen opiskelijavaihdon tilalta. Yhteistyökorkeakoulut ovat tarjonneet joitakin reaaliaikaisia luentoja Xamk:iin ja vastaavasti Xamk:sta on tehty luentoja heille. Tällä hetkellä joidenkin pidempiaikaisten yhteistyöyliopistojen kanssa on käyty keskusteluja mahdollisesta digitaalisesta opintojaksovaihdannasta ja järjestetty tutkinto-opiskelijoille opinnäytetyön esittelytilaisuus digitaalisesti Xamk:n lisäksi kotikorkeakoululle. Mahdollisuudet digitaaliselle vaihdannalle on siis olemassa, mutta sitä ei ole vielä otettu vakinaiseen käyttöön.

Jos reaaliaikainen koulutus aiotaan järjestää yhteistyössä kansainvälisten yliopistojen kanssa, joudutaan ottamaan huomioon aikaerot ja niiden vaikutukset järjestelyihin. Helpoimmin reaaliaikainen, paikasta riippumaton opetus onnistuu lähiaikavyöhykkeiden kanssa.

Miksi yhteistyökuvioita ei ole syntynyt digitaalisten opintojaksovaihtojen osalta? Haastateltava arvioi, että digitaalistenkin yhteistöiden syntyminen lähtee aidoista vuorovai-  
kutustilanteista. Yleensä se vaatisi vierailua yhteistyökumppanin luona, jolloin päästään helpommin keskustelun alkuun yhteistyökuvioista ja nähdään mahdollisesti, millaiset puitteet ja mahdollisuudet yhteistyölle on tarjolla. Perinteiset opettajavaihdot eivät ole luoneet vakiintuneita yhteistyökuvioita, joiden pohjalta voisi alkaa rakentamaan yhteisiä opintojaksoja ja tutkintoja.

## OPINTOJEN KANSAINVÄLINEN KEHITTÄMINEN

Virtuaalinen yhteistyö kulttuurien välisissä ryhmissä toteutuisi reaaliaikaisessa opetuksessa luonnostaan, jossa osallistujat olisivat useasta eri maasta. Tällaisessa ryhmässä toimiminen opettaa toinen toistaan löytämään yhteisiä käytänteitä ja käyttämään yhteistä kieltä. Myös yritys-yhteistyöt yhdistettynä monikulttuurisiin ryhmiin rikastuttaa opetusta. Monikulttuuriset ryhmät voivat tehdä yhteistyötä ympäri maapalloa. Havainnoinnin ja haastattelujen perusteella virtuaalinen yhteistyö ei aina kuitenkaan onnistu verkkokursseilla. Digitaalinen yhteistyö vaatii, että kaikki ovat yhtä aikaa läsnä. Jos opetus tapahtuu ajasta ja paikasta riippumattomana, on tehtävät luonteeltaan yksilösuorituksia. Reaaliaikainen opetus mahdollistaisi paremmin vuorovaihteisten ryhmätöiden teon, jolloin syntyisi luonnostaan virtuaalista yhteistyötä. Lisäksi kansainvälisestä kurssista tehdyt havainnot vahvistavat itsekoordinoinnin ja itsensä johtamisen tärkeyttä verkko-opiskelussa - niitä tarvitaan, jotta kurssi tulee suoritettua aikataulussa.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Aineistosta nousseet tulokset vahvistivat teoriassa läpi käytyjä asioita. Esiin tuli sellaista tietoa, mitä kirjallisuudesta ei tullut. Tieto koski ydinkysymystä: miksi digitaalisuutta ei ole hyödynnetty opiskelijoiden kansainvälisessä liikkumisessa enemmän? Digitaalisesti-  
kin tehtävät yhteistyöt saavat alkunsa aidoista ihmisten kanssa käydyistä keskusteluista ja kohtaamisista. Teoreettisessa viitekehyksessä kiinnitettiin huomiota digitaalisuuden ja kansainvälisyyden hyödyntämiseen ja siihen, miten opintojaksoja kehitetään.

Tutkimus valaisi myös yleisesti koulutusten kehittämiseen vaikuttavia tekijöitä, miten esimerkiksi koulutuksen kehittäminen on tärkeä osa yhteiskuntamuutoksessa ja miten ajan ilmiöt voidaan huomioida koulutussuunnittelussa. Aiheen ajankohtaisuuskin lisäsi

ymmärrystä tulevaisuudesta – mitä digitalisaatio tuo tullessaan, mitä hyötyjä ja haittoja siitä tulee olemaan? Kuinka digitaalisen toteutuksen lisäksi on otettava huomioon kysymykset tietoturvasta?

Tässä esitetään tuloksista kolme merkittävää asiaa, jotka ovat tärkeitä hyvän digitalisaation kannalta. Ensimmäinen asia on digitalisaation tiekartan vähäinen tunnettavuus Xamk:n haastateltavien keskuudessa. Haastatteluista kävi ilmi, että Xamk:iin on tehty digitalisaation tiekartta, mutta neljästä haastateltavasta vain yksi tunsi tiekartan. Se olisi hyvä jalkauttaa jokaiselle organisaatiossa ja tehdä tunnetuksi koko henkilökunnalle. Tiekartan parempi tunnettavuus loisi yhtenäisempää ilmapiiriä digitalisoituvassa koulutuksessa. Toisena esiin nousi tiiviimmän yhteistyön merkitys kansainvälisten koulujen kanssa ja kolmantena henkilökunnan digitaaliset valmiudet, jotta pedagogiikka ei kärsi verkko-opetuksesta.

Opinnäytetyön aikana tehdyn palvelupolun kehittäminen antaisi Xamk:lle lisää asiakasymmärrystä. Hyödyntämällä kehitetystä versiosta saatua tietoa Xamk pystyisi tekemään vielä syvemmin asiakaslähtöistä koulutus suunnittelua. Palvelupolkuun olisi hyvä ottaa mukaan erilaiset käyttäjäpersoonat, ydinasiakkaat, ja testata palvelua heidän näkökulmastaan: palveleeko koulutus Xamk:n ydinasiakkaita ja ovatko hankkeen tavoitteet linjassa Xamk:n strategian kanssa? Tällä hetkellä palvelupolku on tehty yleisesti edustamaan kaikkia opiskelijoita. Erilaiset opiskelijaprofiilit antaisivat lisäinformaatiota koulutuksen kehittämisestä. Persoonat paljastavat palvelupolun kipukohtat, joihin kannattaa kiinnittää enemmän huomiota. Erilaiset opiskelijaprofiilit paljastavat ydinasiakastyypin tietyllä koulutuskonseptilla: Millaisia opiskelijoita koulutukseen hakeutuu? Onko tarkoitus mahdollistaa kansainvälinen opiskelu työn ohessa perheelliselle vai vuorotyössä olevalle vai jollekin muulle?

## LÄHTEET

Digital Mobile @ FH Bielefeld. 1.8.2019–30.11.2022. Hankkeen esite. Bielefeld, Saksa.

Jungner, M. 2015. Otetaan digiloikka! Suomi digikehityksen kärkeen. Helsinki: Elinkeinoelämän keskusliitto EK.

SUMMARY of FH Bielefeld's proposal for the project: "Digital Mobile@FH Bielefeld". Hankkeen esite. 1.8.2019–30.11.2022. Bielefeld, Saksa.

Valtioneuvoston kanslia. 2015. Toimintasuunnitelma strategisen hallitusohjelman kärkihankkeiden ja reformien toimeenpanemiseksi. Helsinki: Hallituksen julkaisusarja 13/2015.

# SÄHKÖMARKKINAN AUTOMATISOINTI

Mikko Kettunen & Juha Korpjärvi

Asiasanat: Sähkömarkkina, reservimarkkina, energiayhteisö ja mikroverkko

## JOHDANTO

Elämme keskellä energiamurrosta, jossa energiankuluttajat ja -tuottajat ovat entistä tietoisempia energian vaikutuksesta ympäristöön. Uusiutuvaa energiantuotantoa liitetään sähköverkkoon koko ajan lisää, joka vihreyttää sähköä. Toisaalta säätelemätön uusiutuva energiantuotanto aiheuttaa sähköverkon näkökulmasta haasteita, koska sähköverkossa kulutuksen ja tuotannon tulee olla tasapainossa jokaisena ajanhetkenä. Tästä johtuen myös sähkökuluttajan kulutuksen joustokyvykkyyteen on kiinnitetty huomiota ja mm. Fingrid on ollut mukana kehittämässä erilaisia säätö- ja reservimarkkinoita, joiden kautta myös kuluttajat voivat osallistua sähköverkon tehon tasapainotukseen. Luonnollisesti, jos omistaa sähköntuotantoa, on energiaa myös järkevää myydä markkinoille. Pohjoismaissa suurin osa energiamarkkinoista käydään Nordpoolissa elspot-markkinalla.

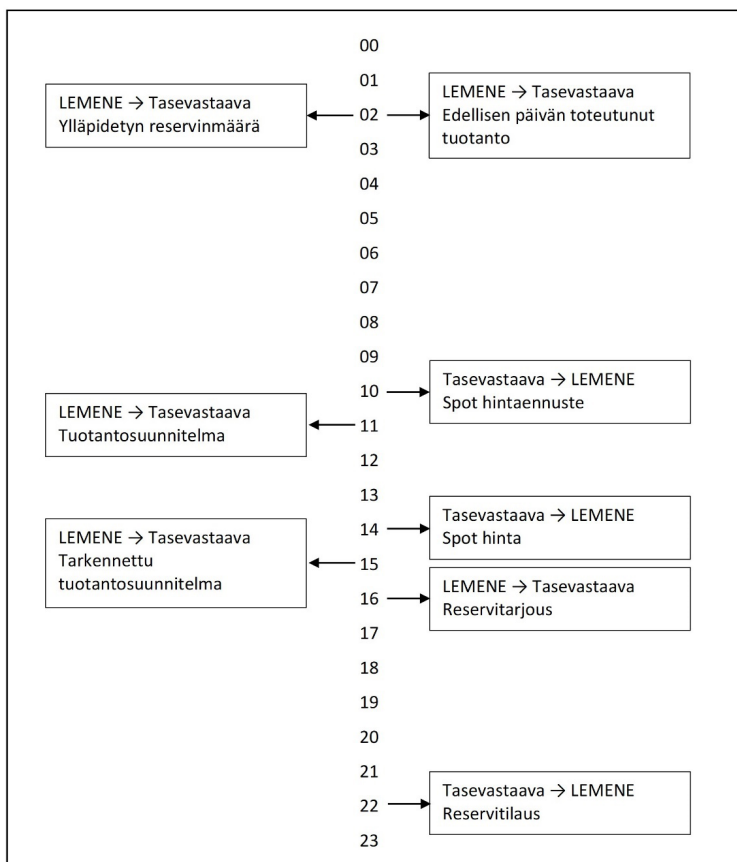
Kuvassa 1 on esitetty erilaisia markkinoita, joista FFR-, FCR-D- ja FCR-N-markkinoissa ohjaus tapahtuu autonomisesti sähköverkon taajuuden perusteella. Kyseiset reservit ovat vaatimuksiltaan ja ominaisuuksiltaan sellaisia, johon pystyy liittämään kulutusta ja tuotantoa. Pienimmillään markkinoille voi osallistua 100 kW:n kuormalla ja aktivointiajat ovat 1–180 s välillä. Aggregoinnin kautta voidaan liittää pienempiäkin kuormia kuin 100 kW. (Ehdot ja edellytykset taajuuden vakautusreservin (FCR) toimittajalle 2019, 11.)



## MENETELMÄT

Työssä käytettiin suunnittelutieteellistä metodia, jonka tarkoituksena oli ensisijaisesti selvittää, onko mahdollista toteuttaa automaattista tiedonvaihtoa resurssien omistajan ja tasevastaavan välille. Seuraavaksi selvitettiin, minkälaiset edellytykset tiedonvaihdolla on toimia ja mitä tietoja osapuolien kesken tulisi vaihtaa. Lopuksi tiedonvaihto implementoitiin ja käyttöön otettiin. Metodi jaettiin kahteen eri kokonaisuuteen selvitykseen ja toteutukseen.

Selvitysvaiheessa tärkeintä oli selvittää sähkömarkkinan toimintaa yleisesti ja tätä kautta luoda työlle määritykset ja tavoitteet tilaajan näkökulmasta. Lisäksi selvitysvaiheessa käytiin toimittajien kanssa läpi, kuinka järjestelmä heidän näkökulmastaan on mahdollista toteuttaa. Kun määritykset ja tavoitteet oli selvät ja kaikkien osapuolien tavoitteet olivat selvät, siirryttiin toteutusvaiheeseen. Selvitysvaiheessa tunnistettiin tiedonvaihtoon tarvittavat tiedostot ja luotiin vuorokautinen aikataulu tiedonvaihdolle. Tuloksena saatiin kuvan 2 mukainen suunnitelma. Lisäksi reserviosallistumista varten tarvittiin reaaliaikainen ylläpidetyn kapasiteetin mittausta, joka välitetään Fingridille. Tätä kautta Fingrid valvoo, kuinka reservejä ylläpidetään ja muodostaa reservikorvauksen ja mahdolliset sanktiot reaaliaikaisen mittauksen perusteella.



Kuva 2. Tiedonvaihdon aikataulu



Toteutusvaiheessa toimittajat aloittivat omien järjestelmien implementoinnin, joiden edistymää seurattiin säännöllisesti. Implementointivaihe päättyi toimittajien omiin sisäisiin testauksiin, joiden hyväksynnän jälkeen siirryttiin käyttöönottovaiheeseen. Käyttöönotto-vaiheessa tiedonvaihtojärjestelmä siirrettiin toimimaan loppuympäristöönsä ja konfiguroitiin todellisilla parametreilla. Ensin tiedonvaihto testattiin testitiedostoilla, ja toimivuuden toteamisen jälkeen järjestelmä initialisoitiin toimintaan oikealla datalla.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tuloksena saatiin toimiva tiedonvaihto, jonka perusteella voi osallistua sähkömarkkinalle. MGC ja tasevastaavan järjestelmät kykenevät hoitamaan kokonaisuuden automaattisesti.

Suunnittelu- ja toteutusvaiheessa huomattiin kehitettäviä kohteita, jotka kuitenkin liittyivät ensisijaisesti MGC:n tuotanto- ja reservitarjousten muodostamiseen. Jotta saataisiin tarkempia tarjouksia, on tärkeää päivittää tuotantosuunnitelmaa useammin, niin edellisenä päivänä kuin päivän sisällä. Vuorokautta ennen tehtävät sääennustukset ovat epätarkkoja, minkä vuoksi suunnitelmiin tulee virheitä. Myös useampaa reserviä voitaisiin tarjota samalle tunnille ja maksimoida tuottoa tätä kautta.

Kuitenkin yksi tärkeimmistä kehityskohteista voisi olla vastaavan tiedonvaihdon standardoiminen. Kokonaisuuden toimintaan saattaminen on suuritöistä, ja tästä johtuen on mahdollista, että osa resursseista, joilla olisi kyvykkyyttä markkinoille, jää niiden ulkopuolelle. Myös resurssiomistajan ja tasevastaavan välille olisi helpompaa muodostaa kyseinen tiedonvaihto, kun siihen olisi valmis standardi olemassa. Tämä nopeuttaisi tiedonvaihdon käyttöönottoa, toisi lisää joustavaa kapasiteettia markkinoille, mahdollistaisi pienemmän kapasiteetin osallistumisen ja loisi kilpailua tasevastaavien välille. Uusien reservituotteiden ja olemassa olevien reservien määritysten muuttumisen myötä tiedonvaihdon muutokset ja lisäykset olisi helpompi toteuttaa. Näillä saavutettaisiin merkittävää lisäjoustoa sähköverkkoon ja mahdollistettaisiin mm. uusiutuvan energian käyttöönottamista ilman sähköverkon tasapainon heikentymistä kaiken muun ohella.

## LÄHTEET

Ehdot ja edellytykset taajuuden vakautusreservin (FCR) toimittajalle. 2020. Fingrid. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/liite2---ehdot-ja-edellytykset-taajuuden-vakautusreservin-fcr-toimittajalle-id-211333.pdf> [viitattu 3.10.2021].

Lempäälän energiayhteisö hanke-esittely. s.a. Lempäälän Energia. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.lempaalanenergia.fi/content/fi/1/20126/LEMENE.html> [viitattu 3.10.2021].

Pohjoismaisen taseselvityksen käsikirja. 2020. eSett.

Reservituotteet ja reservien markkinapaikat. 2020. Fingrid. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet-ja-reservien-markkinapaikat.pdf> [viitattu 3.10.2021].

# ARDUINO-POHJAINEN TOYOTA-AJONEUVON DIAGNOSTIIKKA-VÄYLÄN LUKULAITE

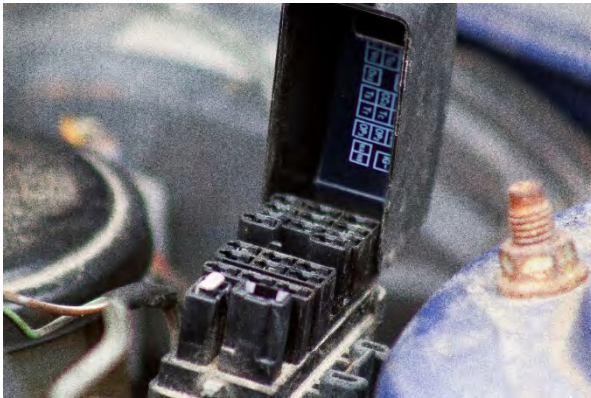
Jere Kurvinen & Jyrki Liikanen

Asiasanat: Arduino, ajoneuvo, diagnostiikka, kehitysalusta, anturi

Ostaako uutta vai korjata vanhaa? Suomen ajoneuvokanta on edelleen hyvin vanhaa ja ajoneuvojen keski-ikä on edelleen jatkuvassa nousussa [1]. Kaikki eivät pysty tai halua käyttää autoiluun paljon rahaa, vaan toteavat, että heidän tarpeisiinsa sopii edullisempi ja vanhempi ajoneuvo. Monet pitävät kierrättämistä ja vanhan kunnostusta arvossaan. Vanhan ajoneuvon kunnosta huolehtiminen käy kätevimmin, kun vikojen paikantamiseen käytetään moottorinohjausyksikön diagnostiikkaväylään yhteensopivaa lukulaitetta. Suomessa vuoden 2000 jälkeen myytäviin autoihin vikakoodien luku onkin tullut pakolliseksi toimenpiteeksi katsastusten yhteydessä.

Vanhemmista ajoneuvoista ei kuitenkaan löydy nykystandardin (OBD-II, On-Board-Diagnostics) mukaista diagnostiikkaväylää. Ennen 2000-lukua ajoneuvoteollisuudessa käytettiin hyvin laajasti erilaisia toteutuksia ja protokollia, eikä mitään standardia diagnostiikkaväylälle ollut sovittuna. Vanhemmista ajoneuvoista vikoja tutkitaan OBD-I-väylän kautta, jonka toiminnallisuus vaihtelee valmistajakohtaisesti [2]. Suomessa näiden lukijoiden saatavuus on heikkoa ja monesti lukijan arvo ylittää jopa ajoneuvon arvon. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää edullinen ja toimiva diagnostiikkaväylän lukulaite, joka soveltuu useimmille Toyota-merkkisille ajoneuvoille.

Ensimmäinen vaihe kehityksessä oli ottaa selvää valitun ajoneuvon moottorinohjausyksikön tarjoamasta diagnostiikasta. Vuoden 1997 Toyotan 4E-FE-moottorin kytkentäkaaviosta löytyvä X1-niminen liityntä viittaa konehuoneesta löytyvään Data Link Connector- lyh. DLC-liittimeen (kuva 1). Liittimen nastoista voidaan lukea konehuoneeseen sijoitettujen antureiden antamia arvoja jännitteinä sekä moottorinohjausyksikön antamia tietoja jännitepulsseina. Liittimen malli ja siinä olevien nastojen toiminnallisuudet vaihtelevat Toyotan mallin, valmistusvuoden ja moottorityypin mukaan. Nastojen lyhenteet löytyvät DLC-liittimen kannesta. [3.]



**Kuva 1.** Toyota Starlet 1997 DLC1 -liitin (kuva: Jere Kurvinen)

Moottorinohjausyksikön antamat jännitepulssit (0–14,4 V) voidaan käsitellä bitteinä ja sarjaliikenteenä (Toyota Diagnostic Communication Link lyh. TDCL). TDCL:n lähettämä bittijono alkaa 16 bittiä pitkällä lepotiedolla, jota seuraa 4 bittiä pitkä OBD-tunnus. Tunnuksen jälkeen tulee kaksitoista kappaletta 11-bittisiä sanoja, jotka sisältävät antureilta luetut tiedot. Tiedot on kehystetty sanoihin, jotta vastaanottava laite tietää, milloin varsinainen data alkaa. Sanan alkaminen on määritetty Start-bitillä, ja loppuminen on määritetty kahdella Stop-bitillä. Näiden välissä on kahdeksan databittiä, jotka sisältävät anturilta saadut arvot binääri- eli 2-järjestelmämuodossa. Binäärinen luku voidaan laskemalla muuttaa helpommin ymmärrettävään desimaalimuotoon. [4, s. 1.]

Kolmestatoista sanasta yhdeksän on tunnettuja. Sanoista on mahdollista lukea mm. suuttimen pulssin leveys, sytytysennakko, tyhjäkäynnin ilmanohjauksen venttiilin asento, moottorin kierrosnopeus, imusarjan absoluuttinen paine, moottorin jäähdytysnesteen lämpötila, kaasuläpän asento ja ajoneuvon nopeus. Viimeinen sana sisältää yhdistetysti päällä/pois-arvoja hallintalaitteiden kytkimiltä. Työssä keskitytään purkamaan ensimmäiset kahdeksan sanaa. Sana sisältää vain kahdeksan databittiä, joten desimaalinen arvo rajoittuu 255:een. Kaikkien antureiden tietoja ei voida näin ollen tuoda sellaisenaan esitettäväksi, vaan niihin täytyy jälkikäteen käyttää korjauskertoimia. [4, s. 1.] Taulukossa 1 on esitettyä tunnettujen sanojen merkitykset, yksiköt ja tarvittavat korjauskertoimet. Moottorin lämpötila saadaan väylän kautta jännitteenä, ja sen muutos celsiusasteiksi tehdään taulukon 2 kaavojen mukaisesti.

**Taulukko 1.** Sanojen merkitykset [4, s. 1–2]

Sana	Merkitys	Yksikkö	Korjauskerroin
0x01	INJ (suuttimen pulssin leveys)	<i>mS</i>	$X/10$
0x02	IGN (sytytysennakko)	$^{\circ}BTDC$	$X - 90$
0x03	IAC (tyhjäkäynnin ilmanohjauksen venttiilin asento)	%	$X/125 * 100$
0x04	RPM (moottorin kierrosnopeus)	<i>rpm</i>	$X * 25$
0x05	MAP (imusarjan absoluuttinen paine)	<i>kPa Abs.</i>	$X$
0x06	ECT (moottorin jäähdytysnesteen lämpötila)	$V (^{\circ}C)$	<i>Taulukko 2.</i>
0x07	TPS (kaasuläpän asento)	%	$X/2$
0x08	SPD (ajoneuvon nopeus)	<i>kmh</i>	$X$

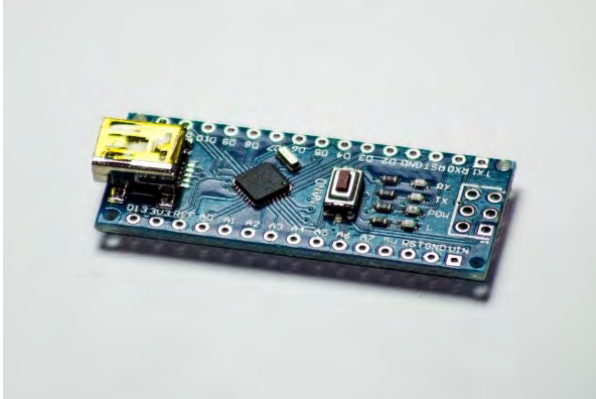
**Taulukko 2.** Moottorin lämpötilan laskeminen jännitteestä

Jännitealue	Laskukaava
3,4 – 4,3 V	$TECT = -20 + (4,3 - VECT) \cdot 22,22$
2,4 – 3,4 V	$TECT = 0 + (3,4 - VECT) \cdot 20$
1,5 – 2,4 V	$TECT = 20 + (2,4 - VECT) \cdot 22,22$
0,9 – 1,5 V	$TECT = 40 + (1,5 - VECT) \cdot 33,33$
0,5 – 0,9 V	$TECT = 60 + (0,9 - VECT) \cdot 50$
0,3 – 0,5 V	$TECT = 80 + (4,3 - VECT) \cdot 100$

Sarjaliikenteen lukemisen päädyin toteuttamaan suositun, avoimeen lähdekoodiin perustuvan Arduino-kehitysalustan avulla. Kehitysalusta on kokonaisuus, johon kuuluu fyysisen piirilevyn lisäksi ohjelmointiympäristö (Integrated Development Environment lyh. IDE). Arduino-piirilevy sisältää mikrokontrollerin, joka tekee siitä tietokoneeseen verrattavan laitteen, ja sillä voidaan suorittaa ohjelmakoodia, laskuja, käskyjä sekä ohjata siihen liitetyt tulo- ja lähtöportteja. Ohjelmointi tehdään tietokoneella Arduino IDE -ohjelmointiympäristössä. IDE:llä luodaan ohjelma eli luonnos, jossa määritellään Arduinon tekemät toiminnot. Luonnos ladataan Arduinon lukumuistiin USB-liitännän kautta, jotta ohjelma voidaan jatkossa suorittaa ilman tietokonetta. [5].

Arduino-kehitysalustaa valittaessa on hyvä ottaa huomioon mm. mikrokontrollerin nopeus, piirilevyn koko sekä tulo- ja lähtönastojen määrä [6]. Päädyin valitsemaan Arduino Nano V3.0 -piirilevyn sen kompaktin koon ja edullisuuden takia. Sarjaliikennettä monitoroidaan yhden johtimen kautta, joten lukijassa tarvittavien tulo- ja lähtönastojen määrä on vähäinen. Arduino Nano on kooltaan vain 45 x 18 mm ja sisältää 16 MHz ATmega328

-mikrokontrollerin, johon on yhdistetty 8 analogista sisäänmenoa ja 14 digitaalista tulo- ja lähtönastaa (kuva 2). Ohjelmointi tehdään kätevästi Mini USB -liittimen kautta. Arduinon valinnan jälkeen tuli pohtia, miten sen virroittaminen, sarjaliikenteen purkaminen ja tietojen jatkokäsittely tehdään.

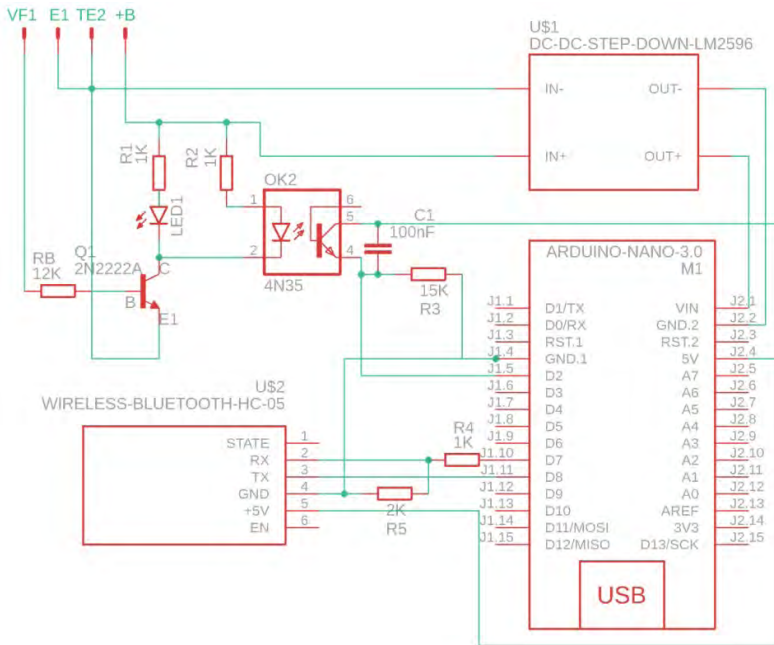


**Kuva 2.** Arduino Nano V3.0 -kehitysalusta (kuva: Jere Kurvinen)

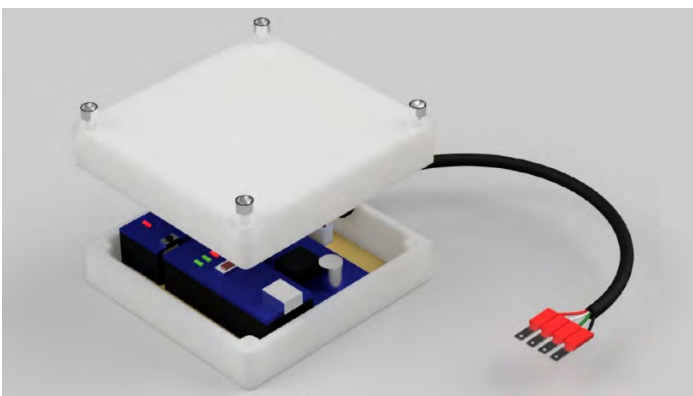
Arduino voidaan virroittaa ajoneuvon akusta, tässä tapauksessa akun jännite saadaan suoraan DLC-liittimen +B-nastasta. Jännite (14,4 V) on kuitenkin liian suuri sellaisenaan Arduinon sisääntulojännitteenastastaan (Input Voltage lyh. VIN), ja se tuli laskea sopivalle 5 V tasolle LM2596-jännitteensäätimellä, joka säätyy automaattisesti tulojännitteen sekä kuorman mukaan. TDCL-sarjaliikenteen jännite on myös 0–14,4 V alueella. Pulssien vaihtelu on kuitenkin nopeaa, eikä jännitteen alentamiseen voinut käyttää jännitesäädintä hitauden takia. Jännitteen alentamiseen käytin transistori- ja optoerottimikytkentää, jotka reagoivat nopeasti sarjaliikenteen pulssien vaihteluun. Transistori vahvistaa sarjaliikenteeltä saadun signaalin, ja optoerottimen avulla saadaan tehtyä galvaaninen erotus, eli estetään virran kulkeminen kahden eri virtapiirin välillä.

Kaupalliset kuluttajille suunnatut OBD-II-lukijat hyödyntävät usein Bluetooth-yhteyttä, ja antureilta tulevat arvot nähdään puhelinsovelluksesta. Bluetooth-yhteyden muodostamiseen käytin HC-05-moduulia, joka keskustelee Arduinon kanssa RS-232-sarjaliikenteellä, bitti kerrallaan, hyvin samaan tapaan kuin TDCL-sarjaliikenne. Arduinolta tarvitaan tulo- ja lähtönasta lähtevälle ja vastaanottavalle liikenteelle. Arduino IDE -käyttöliittymän komentoriviltä voidaan lähettää AT-komentoja, joilla asetellaan mm. puhelimelle näkyvä nimi ja yhdistämiseen tarvittava pin-koodi. Bluetooth-moduuli keskustelee Android-puhelimeen MIT App Inventor 2 -ohjelmassa kehitetyn sovelluksen avulla. Sovelluksessa hoidetaan Bluetooth-yhteyden muodostus sekä arvojen kysely Arduinolta.

Pääkomponenttien valinnan jälkeen tein lopullisen kytkentäkaavion Autodesk Eagle -ohjelmalla (kuva 3). Piirilevystä ja sen koteloinnista tein 3D-kokoonpanomallin Autodesk Fusion -ohjelmalla (kuva 4). Kokoonpanomallin ja kytkentäkaavion avulla tein kytkennät koekytkentälevylle, jossa on valmiita juotosliuskoja helpottamaan kytkentöjä. Pienempien komponenttien sijoittelun pyrin tekemään niin, että kytkentöjen tekeminen onnistuu mahdollisimman lyhyitä reittejä pitkin. Arduinoa ja HC-05-moduulia lukuun ottamatta komponentit on juotettu lopullisesti piirilevyyteen kiinni. Lopuksi 3D-tulostin kotelon piirilevyn ympärille.



**Kuva 3.** Kytkentäkaavio (kuva: Jere Kurvinen)



**Kuva 4.** Lukijan kokoonpanomalli (kuva: Jere Kurvinen)

Diagnostiikan lukemiseen on saatavilla Windows-pohjainen ohjelma, joka keskustelee moottorinohjausyksikön kanssa RS232-sarjaliikenneportin kautta [8]. Windows-ohjelmaan perustuen Arduinolle on kirjoitettu yhteensopiva ohjelma, jota muokkasin omaan käyttötarkoitukseen sopivammaksi [9]. Ohjelman alussa määritetään tulo- ja lähtönastojen toiminnallisuus sekä tarvittavat kirjastot, jotka sisältävät mm. HC-05-moduulille valmiiksi kirjoitettuja ohjelmäpätkiä. Sarjaliikenteen lukeminen tehdään interrupt-toiminnon avulla case-tapahtumiin. Case-tapahtumien sisällä arvot skaalataan ymmärrettävään muotoon. Arvojen lukeminen ja skaalaus tapahtuu ”taustalla”, kun jatkuvasti alusta loppuun kiertävä loop()-funktio kuuntelee Bluetooth-liikennettä. Puhelimen sovellus lähettää ”r”-kirjaimen Arduinolle, joka käskää Arduinoa lähettämään luetut tiedot XML-muodossa puhelimeen.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin. Työssä onnistuttiin valmistamaan edullinen ja toimiva oleva Toyota-ajoneuvon diagnostiikkaväylän lukulaite. Työvaiheet ovat hyvin kuvattuna, ja selkeä kytkentäkaavio ja kokoonpanomalli helpottavat laitteen kokoamista. Lukijaa voidaan myös jatkokehittää mm. teettämällä piirilevy erillisellä valmistajalla, parantaa Android-sovelluksen ulkoasua sekä lisätä hälytyksiä liian korkeille moottorin arvoille. Valmistuneella lukijalla onnistuttiin havaitsemaan ajoneuvon korkea (1325 rpm, suositus 900 rpm) tyhjäkäynnin kierrosnopeus (kuva 5).



**Kuva 5.** Valmiin lukijan testaaminen (kuva: Jere Kurvinen)



## LÄHTEET

Traficom. Ajoneuvokannan tilastot. WWW-dokumentti. Päivitetty 12.10.2021. Saatavilla: <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Liikennekaytossa-olevat-HA-keski-ika-1998-2020.xlsx> [viitattu 14.10.2021].

Heikkilä, J. EOBD, OBD2 ja valmistajakohtaiset protokollat. WWW-dokumentti. Päivitetty 20.1.2007. Saatavilla: [http://www.obd.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=32&Itemid=2%20](http://www.obd.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=32&Itemid=2%20) [viitattu 14.10.2021].

Toyota Kgbconsulting. OBD-1 Serial Interface. WWW-dokumentti. Päivitetty 1.11.2020. Saatavilla: [http://toyota.kgbconsulting.ca/wiki/OBD-1\\_Serial\\_Interface](http://toyota.kgbconsulting.ca/wiki/OBD-1_Serial_Interface) [viitattu 15.10.2021].

Yotatech. OBD-I Protocol Description. PDF-dokumentti. Päivitetty 10.2.2020. Saatavilla: <https://www.yotatech.com/forums/attachments/f116/100816d1418667254-successful-93-obd-reading-obd-i-protocol-description.pdf> [viitattu 16.10.2021].

Arduino. Arduino IDE. WWW-dokumentti. Päivitetty 16.11.2020. Saatavilla: <https://www.arduino.cc/en/software> [viitattu 16.10.2021].

Gopinath, S. How to Choose the Right Arduino Board for Your Project. WWW-dokumentti. Päivitetty 21.3.2018. Saatavilla: <https://maker.pro/arduino/tutorial/how-to-choose-the-right-arduino-board-for-your-project> [viitattu 17.10.2021].

Chem407. ToyotaOBD Flagship implementation. WWW-dokumentti. Päivitetty 2008. Saatavilla: <http://www.carina-e.ru/viewtopic.php?f=6&t=1145> [viitattu 17.10.2020].

GadgetFreak. Reading OBD(1) data from Toyota Corolla 1992. WWW-dokumentti. Päivitetty 3.5.2014. Saatavilla: <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=237539.0> [viitattu 18.10.2020].

# KORJAUSRAKENTAMISEN ENERGIATEHOKKUUS JA HIILI- JALANJÄLKI, SUUNNITTELUSTA TOTEUTUKSEEN.

Aku Oksala & Petteri Järvelä

Asiasanat: (kosteusvaurio, sisäilmakorjaus, LCA, hiilijalanjälki, korjausrakentaminen, tiivistyskorjaus, energiatehokkuus)

## KORJAUSRAKENTAMINEN

Rakentamisen painopiste on siirtymässä korjausrakentamiseen uudisrakentamisen sijaan. Olemassa olevissa rakennuksissa tehdään tilamuutoksia, aiemmissa korjauksissa on tehty virheitä, esteettömyyttä tulee parantaa väestön ikääntymisen takia ja energiamääräykset tiukentuvat koko ajan. Nämä seikat aiheuttavat omalta osaltaan rakennuskannan korjaustarvetta. 1960- ja 1970-luvulla rakennetut asuinkerrostalot tulevat peruskorjausikään. (Valtiovarainministeriö 2020.)

Suomen rakennuskannasta suurin osa on asuinrakennuksia. Rakennuskantamme käsitti vuoden 2020 lopussa kaikkiaan 1,5 miljoonaa rakennusta. Asuinrakennuskannastamme 60 prosenttia on rakennettu vuonna 1970 tai sen jälkeen. (Tilastokeskus 2021.)

Korjausrakentaminen pidentää rakennuksen jäljellä olevaa käyttöikää. Näin ollen voidaan välttyä uuden rakentamiselta ja tästä aiheutuvista kuormituksista. Energiakorjaukset vähentävät käytönaikaista energiankulutusta ja mahdollisesti myös energiankulutuksen aiheuttamia ilmastovaikutuksia. Korjausrakentamista ei käytännössä tehdä pelkästään energiansäästön tai rakennuskannan vähähiilisuuden parantamiseksi (Häkkinen & Kuitinen 2020, 30.)

Rakennusteollisuus ennustaa, että taloyhtiöissä on tulossa korjausrakentamisen piikki. LVIS-perusparannukset moninkertaistuvat lähivuosina. Rakennuksissa tehtävien suurien remonttien yhteydessä kannattaa asumisen laatutasoa ja energiatehokkuutta parantaa (Rakennusteollisuus 2021.)

Rakennusten hiilijalanjäljen arviointi on tavoitteena ottaa käyttöön vuonna 2025. Hiilijalanjäljen laskeminen tulee koskemaan kaikkea rakentamista. Tulevaisuudessa hiilijalanjäljen laskennan osaajille on tarvetta. Siitä on tulossa tulevaisuuden ammatti, aivan samalla tavalla kuin aikaisemmin energiatodistuksen laatimisesta.

Korjausrakentamisessa hiilijalanjäljen laskenta on hieman monimutkaisempaa kuin uudisrakentamisessa, koska toimenpiteet rajautuvat vain tietyille korjattavalle osalle. Tietomallista ei ole suurtakaan apua laskennassa.

## ENERGIATEHOKKUUS

Ympäristöministeriön asetuksen 4/2013 myötä rakennusten energiatehokkuuden parantaminen on tullut osaksi korjaus- ja muutostöitä. Energiatehokkuutta voidaan parantaa useissa korjauskohteissa. Korjausrakentamishankkeeseen ryhtyettäessä energiatehokkuus on huomioitava korjausten suunnittelussa ympäristöministeriön asetuksen 4/2013 määrittämällä tavalla.

Asetuksen 8. § määrittää energiatehokkuuden parantamisen vaihtoehdot: rakennuksen rakennusosat korjataan vastaamaan nykyrakenteilta vaadittavaa lämmönpitävyyttä, energiatehokkuuden parantaminen mitataan vertaamalla energiankulutusta pinta-alaan suhteutettuun standardikäyttöön sekä rakennukselle lasketaan rakennukselle ominainen E-luku, jota pienennetään vaadittuun tasoon. (Hotinen, Lindberg, Kivimäki & Sahlstedt 2020, 16.)

## HIILIJALANJÄLKI

Rakennetun ympäristön osuus Suomen energiankulutuksesta ja kasvihuonepäästöistä on tällä hetkellä huomattavan suuri. Yleisen arvion mukaan 40 prosenttia kokonaisenergiankulutuksesta tulee rakennuksista. Rakentaminen, rakennusten lämmitys ja sähkönkäyttö tuottaa 30 prosenttia kasvihuonepäästöistä maassamme. Energiatuotannon päästöjen vähentyessä rakennusmateriaalien päästöjen vaikutus korostuu. (Ympäristöministeriö 2019, 31.) Hiilijalanjäljellä kuvataan jonkin tuotteen tai toiminnan koko elinkaaren aikaista kuormittavuutta ilmastolle (Sjöstedt 2018).

VTT on arvioinut vuonna 2013, että silloisen energiatehokkuusluokka A:n rakennuksissa materiaalien merkitys rakennuksen elinkaaren päästöihin oli samaa suuruusluokkaa kuin tilojen lämmityksestä aiheutuvat päästöt. Vieläkin energiatehokkaammissa rakennuksissa sekä passiivitaloissa päästöt olivat jopa 50 prosenttia suuremmat kuin tilojen lämmityksestä aiheutuvat päästöt. (Ympäristöministeriö 2019, 13.)

## TUTKITTAVA KOHDE

Tutkittava kohde on Kuopion Puijonlaaksossa sijaitseva kaksikerroksinen luhtitalo. Se on yksi osa kolmen rakennuksen asunto-osakeyhtiötä. Rakennus on valmistunut 1977. Rakennuksen kerrosala on 499 m<sup>2</sup>. Rakennus on suunniteltu 50 vuoden käyttöiälle. Tavoitekäyttöällä on nykyisellä laskentatavalla voimakas vaikutus rakennuksen hiilijalanjälkeen. Tavoitekäyttöään kasvattaminen 50 vuodesta 100 vuoteen lähes puolittaa hiilijalanjäljen. (Kangas ym. 2019, 72.)

Rakennukseen on tehty LVIS-perusparannus ja tiivistyskorjaukset. Rakennuksen kantavat seinät ovat betonirakenteisia. Ei-kantavat ulkoseinät ovat puurakenteisia, ja korjaukset ovat kohdistuneet niihin. Sisäilmakorjaukset johtuvat alapohjan seinän liittymien ilmavuodoista ja puurakenteisten seinärakenteiden kosteus- ja mikrobivaurioista. Rakennuksessa on koneellinen poistoilmanvaihto.

## E-LUKULASKENNAN TULOKSET

E-luku ennen kosteusvauriokorjauksia oli 128 kWh/m<sup>2</sup>vuosi E, C-luokka vuoden 2018 määräystasolla. E-luku kosteusvauriokorjauksien jälkeen oli 113 kWh /m<sup>2</sup>vuosi E, C-luokka vuoden 2018 määräystasolla. Rakennuksen ilmatiiviysluku on laskennallisesti arvioitu q50 1 m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>), kun se on alun perin ollut q50 8,47 m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>). Ilmanvuotoluvun huomattava parannus on voitu arvioida, koska rakennuksen vaipparakenteet ovat pääosin kivirakenteisia ja tiivistyskorjausten laadunvarmistuksessa ei ole havaittu vuotokohtia. Rakennuksessa on lämmönkehitystapana maalämpö, ja tämän vuoksi E-luku on ollut jo melko alhainen, ennen kuin tiivistyskorjauksia on tehty. Käytetty E-luvun luokitteluasteikko Rivi- ja asuinkerros-talot, joissa alle 3 asuinkerrosta C-luokka 111...150.

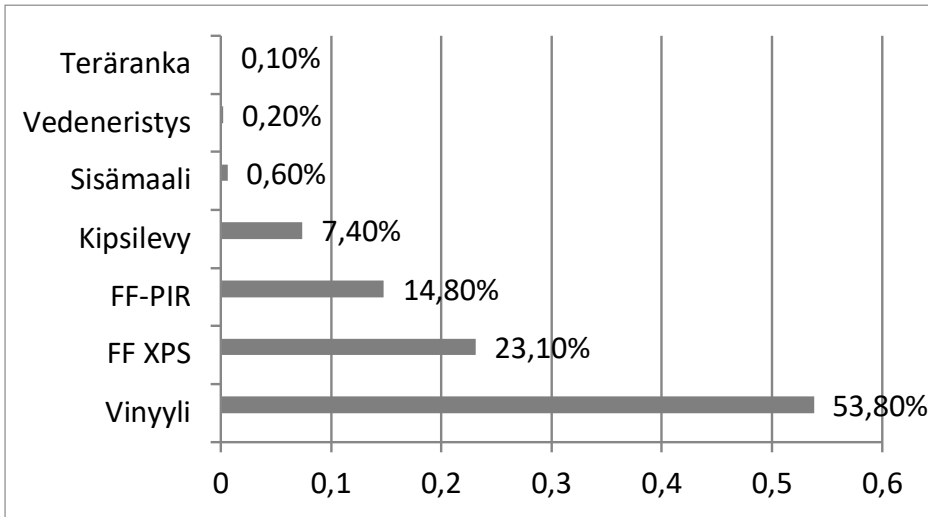
## RAKENTAMISEN ELINKAARIARVIOINTI (LCA)

Kaikilla tavaroilla ja tuotteilla on elinkaari. Tuotteen elinkaari alkaa raaka-aineiden hankinnasta ja päättyy joko kierrätykseen tai loppusijoitukseen. (Ympäristöhallinto 2014.)

LCA eli elinkaariarviointi, englanniksi life cycle assessment, on menetelmä, jonka avulla voidaan analysoida ja arvioida tuotteiden tai palveluiden vaatimia resursseja ja ympäristövaikutuksia (Ympäristöhallinto 2014).

Taulukossa 1 on esitetty tutkittavan kohteen materiaalien suhteellista vaikutusta elinkaariarvioinnin näkökulmasta.

**Taulukko 1.** Eniten vaikuttavat materiaalit ilmaston lämpenemiseen



Alapohjan vinyylilattian osuus rakennuksen päästöistä on merkittävä. Tiivistyskorjauksissa joudutaan pääsääntöisesti lattiamateriaalit uusimaan. Tämä johtuu siitä, että tiivistyksessä on käytetty Ardex SK12 -vahvistusnauhaa, jonka leveys on 120 mm. Käytännössä noin 50 mm nauhaa tulee niin vaaka- kuin pystypinnoille, ja nauhan kuivuttua paikalleen levitetään Ardex 8+9 -vedeneriste kauttaaltaan nauhan yli noin 10 mm. FF-XPS- ja FF-PIR-levytykset ovat termopalkin eristyksiä ja seinän erityksiä. Muovipohjaiset materiaalit vaikuttavat 91,7 % kaikista käytetyistä materiaaleista ilmaston lämpenemiseen. Teräsrankakoolauksella on kuvattu Termokenkä TK100:sta. Vedeneristyksellä on kuvattu tiivistyskorjauksia.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Sisäilmakorjauksen ja LVIS-perusparannuksen yhteydessä rakennuksen energiatehokkuutta pystytään parantamaan hyvällä suunnittelulla ja toteutuksella. Energiatehokkuutta tutkittavassa kohteessa saatiin parannettua kohtalaisesti. Yläpohjan lisäeristämällä U-arvosta 0,35 W/m<sup>2</sup>K U-arvoon 0,09 W/m<sup>2</sup>K saataisiin E-lukua parannettua 108:aan kWh /m<sup>2</sup>vuosi E, B-luokka vuoden 2018 määräystasolla.

Koneellisen poistoilmanvaihdon korvaaminen koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla esimerkiksi Vallox 096 MV:llä toisi E-luvulle parannusta 97 kWh /m<sup>2</sup>vuosi E, B-luokka vuoden 2018 määräystasolla. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon rakentaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa tässä kohteessa.

Elinkaarikustannukset eivät näyttele kovinkaan suurta roolia kohteen korjausrakentamisessa. Hyvällä suunnittelulla ja toteutuksella myös ympäristövaikutuksia voidaan pienentää. Muovipohjaisten materiaalien korvaaminen orgaanisilla materiaaleilla pienentää ympäristövaikutuksia. Orgaanisista materiaaleista tehtyjä tuotteita tulee kehittää ja testata niin, että niitä voidaan käyttää esimerkiksi tiivistyskorjauksissa. Tiivistyskorjausmateriaaleja on jo kasviöljypohjaisina, mutta esimerkiksi FF-PIR-levylle korvaavaa tuotetta on vaikea löytää. Mikäli vanhoista rakenteista saadaan varmuudella mikrobikasvustot poistettua, voidaan käyttää esimerkiksi puukuitueristeitä ja näin ollen osaltaan pienentää ympäristövaikutuksia.

## LÄHTEET

Hotinen, H., Lindberg, R., Kivimäki, C. & Sahlstedt, S. 2020. KOR 2020. Korjausrakentamisen kustannuksia. Rakennustieto Oy.

Häkkinen, T. & Kuittinen, M. 2020. Kohti vähähiilistä rakentamista. Opas arviointiin ja suunnitteluun. Rakennustieto Oy.

Kangas, H-L., Sankelo, P., Kautto, P., Ruokamo, E., Lazarevic, D., Mattinen-Yuryev, M., Turunen, T. & Nissinen, A. 2019. Taloudellisten kannusteiden käyttö vähähiilisen rakentamisen ohjauksessa TALO-hankkeen loppuraportti. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:32.

Rakennusteollisuus. 2021. Korjausrakentaminen. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Korjausrakentaminen1/> [viitattu 24.10.2021].

Sjöstedt, T. 2018. Mitä nämä käsitteet tarkoittavat? Sitra. WWW-dokumentti. Päivitetty 20.6.2019. Saatavissa: <https://sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarchoittavat/> [viitattu 24.10.2021].

Tilastokeskus. 2021. Rakennuskanta 2020. WWW-dokumentti. Päivitetty 3.6.2021. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/rakke/2020/rakke\\_2020\\_2021-05-27\\_kat\\_002\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/rakke/2020/rakke_2020_2021-05-27_kat_002_fi.html) [viitattu 24.10.2021].

Valtiovarainministeriö. 2020. Rakentaminen 2020 - 2021. Rakennusalan suhdanneryhmä, syksy 2020. Talousnäkyvät. Valtiovarainministeriön julkaisuja 2020:63.

Ympäristöhallinto. 2013. Elinkaariarviointi, jalanjäljet ja panos-tuotosmallit. WWW-dokumentti. Päivitetty 4.12.2013. Saatavissa: [Ymparisto > Elinkaariarviointi, jalanjäljet ja panos-tuotosmalli](#) [viitattu 24.10.2021].

Ympäristöministeriö. 2019. Rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Helsinki. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM\\_2019\\_22\\_Rakennuksen\\_vahahiilisyden\\_arviointimenetelma.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyden_arviointimenetelma.pdf) [viitattu 24.10.2021].



XAMK  
KEHITTÄÄ