



INSINÖÖRIYDEN KYNNYKSELLÄ

Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan
koulutuksen opinnäytetöitä
vuosijulkaisu 2020

Kari Dufva & Mari Koivunen (toim.)



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Kari Dufva & Mari Koivunen (toim.)

INSINÖÖRIYDEN KYNNYKSELLÄ

Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan
koulutuksen opinnäytetöitä
vuosijulkaisu 2020

XAMK KEHITTÄÄ 124

**KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU
MIKKELI 2020**

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Getty Images / Ezra Bailey

Taitto ja paino: Grano Oy

ISBN: 978-952-344-280-1 (nid.)

ISBN: 978-952-344-281-8 (PDF)

ISSN: 2489-2467 (nid.)

ISSN: 2489-3102 (PDF)

LUKIJALLE

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu tarjoaa monipuolista ja uudistuvaa insinöörikoulutusta useilla eri paikkakunnilla. Ammattikorkeakoulun tavoitteiden mukaisesti koulutuksen merkittävänä tehtävänä on yhdessä elinkeinoelämän kanssa muodostaa uutta työtä, osaamista ja vaikuttaa positiivisesti aluekehitykseen. Monialaisen insinöörikoulutuksen avulla ammattikorkeakoulu palvelee useita eri teollisuuden aloja ja tarjoaa mahdollisuuden elinkeinoelämän uudistumiselle.

Insinööriyden kynnyksellä -julkaisuun on koottu Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutuksen insinööriopiskelijoiden opinnäytteinä julkaistuja tutkimuksia. Opinnäytetöissä esillä oleva monialainen yhteistyö elinkeinoelämän kanssa tukee Etelä-Savon aluekehitystä näillä merkittävillä toimialoilla.

Artikkeliteoksessa esiteltävät opinnäytetyöt kuvaavat koulutuksen monialaisuutta ja vaikuttavuutta yhteiskunnan eri aloille. Julkaisussa esillä olevat työt ovat vain pieni osa vuoden 2020 aikana tehdyistä opinnäytetöistä, mutta ne kuvaavat osaltaan koulutuksen monialaisuutta. Artikkeleissa käsitellään muun muassa tekoälyä, energiaa sekä uusiutuvia ja tehokkaita materiaaleja.

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

Tekijät

Mikkelissä 22.10.2020

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

RIKU HAAPIAINEN, ins. (AMK), tuotekehitysinsinööri
Vitrulan Composites Oy

ELMERI HEINONEN, ins. (AMK), työnjohtaja
Finnoval Oy

JUKKA KOIKKALAINEN, ins. (AMK), toimitusjohtaja
Sterkman Oy

LASSE MIETTINEN, ins. (AMK), LVIA-suunnittelija
Insinööritoimisto Mittatyö Timo Holopainen Ky

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

MARI KORHONEN, ins. (AMK), vesihuoltoinsinööri

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

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

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

JANI MYYRYLÄINEN, ins. (AMK), työnjohtaja
Maarakennus Talpa Oy

ANTTI TONTERI, ins. (AMK), projekti-insinööri, sähkö- ja automaatio

PETRI TURTIAINEN, ins. (ylempi AMK), kehityspäällikkö
Kuopion Energia Oy

JARMO TUUNANEN, ins. (ylempi AMK), lehtori
Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy, Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutus

TOMI ÖSTER, ins. (ylempi AMK), kehityspäällikkö
Järvi-Suomen Energia Oy

SISÄLTÖ

LUKIJALLE.....	3
KIRJOITTAJAT.....	4
JOHDANTO	6
TIETOKANNAN HYÖDYNTÄMINEN INSTRUMENTOINTISUUNNITTELUSSA.....	9
Antti Tonteri & Jyrki Liikanen	
DIGITALISAATION JA TEKOÄLYN HYÖDYNTÄMINEN JÄRVI-SUOMEN ENERGIAN VIANHALLINNASSA.....	16
Tomi Öster & Juha Korpijärvi	
ATEX-TILOJEN ILMANVAIHTO.....	22
Elmeri Heinonen & Jarmo Tuunanen	
HULEVESIVERKOSTON PARANTAMINEN VIIVYTTÄMÄLLÄ KIRJALAN ALUEELLA.....	31
Jani Myyryläinen & Anna Forsström	
KAUKOJÄÄHDYTYKSEN TEHOKKAAT TUOTANTOMENETELMÄT KUOPIOSSA.....	36
Petri Turtiainen & Jarmo Tuunanen	
SELVITYS RAVINNEKIERTOJA TUKEVIEN PAIKALLISTEN SANITAATORATKAISUJEN TALOTEKNIIKAN JA LOGISTIIKAN VAATIMUKSISTA.....	43
Mari Korhonen & Johanna Arola	
MÄRKÄTILOJEN LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN VERTAILU.....	50
Lasse Miettinen & Jarmo Tuunanen	
BIOMATERIAALINEN PORATULPPA.....	56
Jukka Koikkalainen & Ritva Käyhkö	
HIILIKUIDUN KELAUS- JA INFUSOINTIMENETELMIEN KEHITTÄMINEN KOEKAPPALEIDEN VALMISTUKSESSA	62
Riku Haapiainen & Kari Dufva	

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. Yksiköt jakautuvat edelleen koulutuksiin, joista uusimpana vuonna 2021 aloittaa rakennus- ja energiatekniikan yksikössä robotiikan ja tekoälyn insinöörikoulutus.

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.

Insinöörikoulutus on Suomessa käynnistynyt 1900-luvun alussa sekä kasvanut ja kehittynyt merkittäväksi teollista yhteiskuntaa tukevaksi koulutusalaksi, joka nykymuodossaan tarjoaa uutta työvoimaa pääasiassa yksityiselle sektorille. Teknillisten oppilaitosten päättäessä toimintansa 1990-luvulla alkoivat ammattikorkeakoulut vastata lyhyehkön siirtymävaiheen jälkeen Suomessa insinöörikoulutuksesta. Nykyisin koulutus kestää neljä vuotta, ja sen merkittävänä kulmakivenä on opiskelijan opintojensa lopuksi tekemä tutkimuksellinen opinnäytetyö. 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 yli sadan valmistuvan insinöörin opinnäytetyömäärästä.

Teknillisen tutkintokoulutuksen yhtenä tavoitteena on sen teoriapohjaisen tietämyksen muodostaminen, jonka varaan valmistuva insinööri voi tulevan ammatillisen osaamisensa rakentaa. 2000-luvun alkumetreillä tapahtuva teknologioiden nopean kehityksen muodostama erityisosaamisen tarve on merkittävästi lisääntynyt ja mitä todennäköisemmin tulee jatkossa lisääntymään. Tämä kehitys haastaa myös insinöörien tutkintokoulutuksen rakennetta ja tavoitteita. Osaamistarve on usein kohdennettua, nopeasti kehittyvää, ja työvoiman tarve voidaan todennäköisesti täyttää suhteellisen pienillä työntekijämäärillä. Tällaiseen työmarkkinatilanteeseen reagoiminen tutkintokoulutuksen avulla on nykyisellään hyvin hidasta. Rinnalle tarvitaan erilaisia tapoja kouluttautua ja erikoistua. Tutkintokoulutuksen merkitys vahvan pohjan muodostavana koulutuksena jatkuvan oppimisen polulle on kuitenkin vielä nähtävissä, mutta koulutuksen ajanmukaisuudesta tulee pitää huolta. Näin varmistetaan vahva perusta elinikäiselle oppimiselle myös tulevaisuudessa.

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

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutukseen liittyvän opinnäytetyön *Tietokannan hyödyntäminen instrumentointisuunnittelussa* tavoitteena oli tunnistaa tehokkaan ja onnistuvan tietokantasuunnittelun kriittisiä kohtia ja hyviä käytänteitä. Työssä koostettiin listaus suunnittelun kannalta tärkeitä elementteistä yrityksen käyttämä tietokantasovellus huomioiden ja tuotettiin tietoa näiden elementtien hyödyntämiseksi. Artikkelin *Digitalisaation ja tekoälyn hyödyntäminen vianhallinnassa* on ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon työ ja paneutuu sähköverkon vikatilanteiden hallintaan digitaalisen tiedon avulla. Työssä yhdistyvät yhteiskunnan perustoimintojen turvaaminen digitaalisen tiedonhallinnan avulla. Molemmissa töissä digitaalisella tiedon tallentamisella ja hyödyntämisellä on merkittävä asema.

Atex-tilojen ilmanvaihtoa kaasuräjähdyksivaarallisten tilojen suunnittelussa on suunnittelijan näkökulmasta tutkittu talotekniikan koulutuksen työssä *Atex-tilojen ilmanvaihto*. Työssä on selvitetty räjähdysvaarallisten tilojen vaatimia erityiskohtia ja tuotettu materiaalia suunnittelijoiden avuksi. Talotekniikan artikkelissa *Hulevesiverkoston parantaminen viivyttämällä Kirjalan alueella* kehitetään ratkaisuja ilmastonmuutoksen aiheuttamien hulevesimäärien kasvamiseen. Työ tuo hyvin esille hulevesien merkittävän vaikutuksen kaupunki-infrastruktuurin toimintaan.

Kaukojäähdytyksen kysyntä on viime vuosina kasvanut, ja tähän etsitään toteutustapoja useilla paikkakunnilla. Tekniikan perusajatuksena on kaukolämmön tapaan tuottaa toiminto keskitetysti, mutta kaukojäähdytyksessä lämpimän veden sijaan verkostossa kiertää kylmä vesi. Menetelmää on tutkittu talotekniikan ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyössä *Kaukojäähdytyksen tehokkaat tuotantomenetelmät Kuopiossa*. Työssä nousi esille mm. jäähdytyspotentiaalin jakautuminen kaupungin eri osiin, jolloin kaukojäähdytyksen lisäksi erilaisille jäähdytysratkaisuille on tarvetta. Asuntokohtaisen energiatehokkuuden kehittämiseksi työssä *Märkätilojen lämmitysjärjestelmien vertailu* on tutkittu märkätilojen sähköisen ja vesikiertoisien lattialämmityksen elinkaarikustannuksia ja energiatehokkuutta.

Energiateknisten ratkaisujen lisäksi talotekniikka-alaan liittyvät myös ympäristötekijät. Opinnäytetyössä *Selvitys ravinnekiertoa tukevien paikallisten sanitaatorratkaisujen talotekniikan ja logistiikan vaatimuksista* todetaan käymäläjätevesien ja biojätteiden yhteyskeräyksellä saavutettavan useita hyötyjä. Mikäli käymälävesille rakennetaan erillinen keräysputkisto, sitä olisi kannattavaa käyttää myös biojätteiden keräykseen.

Materiaalitekniikan kehitystä tällä vuosituohannella on ohjannut voimakas pyrkimys energiatehokkuuteen ja ekologisiin ratkaisuihin, joissa ympäristökuormitus materiaalin elinkaaren

aikana jäisi mahdollisimman pieneksi. Materiaalien avulla vaikutetaan tuotteiden ja prosessien energiatalouteen, kierrätykseen sekä käytettävyyteen. Kevyet ja kestävät materiaalit tarjoavat ratkaisuja energiatehokkuuteen, ja biohajoavuus taas tuo niiden käytettävyyteen ja kierrätettävyyteen lisäarvoa. Teokseen poimituissa materiaalitekniikan opinnäytetöissä on tutkittu biohajoavaa poratulppaa sekä hiilikuitulaminaatin valmistusta. Käsiteltävät materiaalit sekä niiden toiminnallinen tarkoitus ovat hyvin erilaisia. Hiilikuitu on materiaali, joka toisaalta sitoo paljon energiaa mutta voi merkittävästi pienentää käytönaikaista energiankulusta. *Hiilikuitulaminaatin valmistusmenetelmien kehityksessä* -työn tavoitteena onkin välillinen vaikutus energiatehokkuuteen. *Biohajoavassa poratulpassa* taas hyödynnetään puupohjaista materiaalia, ja tavoitteena on tuotteen mahdollisimman pieni välitön ympäristökuormitus.

Sähkö-, talo- ja materiaalitekniikan koulutusyksikön opinnäytetöiden kokoomateos julkaistaan nyt ensimmäistä kertaa, ja julkaisusta on tarkoituksena muodostua vuosittainen tapa. Teoksen toivotaan tuovan esille tekniikan opinnäytetöissä tehtäviä mielenkiintoisia projekteja ja kehittävän yhteistyötä työelämän sekä toimeksiantajien kanssa.

TIETOKANNAN HYÖDYNTÄMINEN INSTRUMENTOINTI-SUUNNITTELUSSA

Antti Tonteri & Jyrki Liikanen

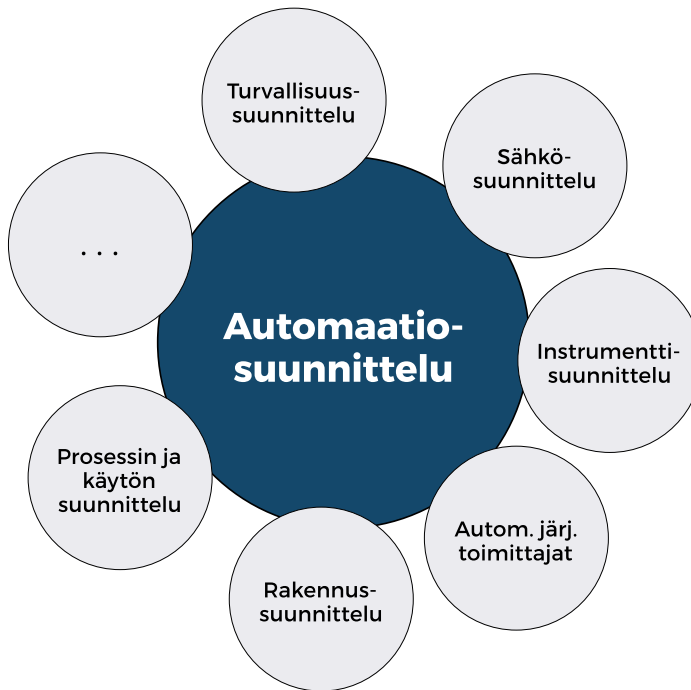
Asiasanat: automaatio, instrumentointi, tietokantasuunnittelu

Sekaisin oleva työpöytä, lehtiön kulmaan kirjoitetut lähtötiedot ja hukassa olevat dokumentit eivät ole otollisin pohja hyvälle ja laadukkaalle suunnittelulle. Sähköiset dokumentit ja digitaalisuus muuttavat ja ovat muuttaneet työntekoa, mutta peruseriaatteita nekään eivät kykene muuttamaan: tieto ja tiedonkeruu eivät yksinään riitä ja ole tie menestykseen. Tehokkaan ja onnistuvan tietokantasuunnittelun edellytyksiä etsittäessä törmätään usein tiedon eri ulottuvuuksiin. Laadukkaan suunnittelutyön kannalta tiedon oikea-aikaisella saamisella ja sen systemaattisella käsittelyllä tiedetään olevan merkittävä vaikutus työn tehokkuuteen sekä työn laatuun. Tiedon kerääminen ja tallentaminen eivät kuitenkaan yksin riitä; kasa kerättyä ja tallennettua tietoa muodostavat vain yksittäisen tietovaraston ilman käytännön arvoa. Projektissa tuotettavien dokumenttien ja luetteloiden tekeminen tietokantaa hyödyntäen edellyttää tiedon tallentamista käyttötarkoituksen huomioiden. Tässä kohtaa merkittävään rooliin nousee yrityksessä olevien hyvien käytänteiden ja hyväksi havaittujen toimintatapojen hyödyntäminen. Yrityksen kannalta hyväksi havaittujen toimintatapojen tietotaito uhkaa kuitenkin usein jäädä organisaation sijasta yksittäisille suunnittelijoille. Suunnittelutyön laadukkaan jatkuvuuden kannalta olisi kuitenkin tärkeää, että nämä hyvät käytänteet sekä suunnittelutyön kriittiset ja tärkeät elementit saadaan juurrutettua myös organisaation osaamiseksi. Näin yrityksen näkökulmasta katsottuna pystytään varmistamaan yksittäisen suunnitteluprojektin onnistumisen lisäksi tietotaidon siirtyminen myös uusille suunnittelijoille ja turvaamaan perusosaamisen pysyminen henkilövaihdoksista huolimatta.

Yrityksessä käytettävien yleisten suunnitteluohjeiden ajantasaisuus sekä yksinkertaisuus ovat merkittävässä roolissa suunnittelutiedon ja -osaamisen jakamisessa. Ohjeet ja niihin kerätyt tietokantasuunnittelun kannalta tärkeät toimintaperiaatteet, kriittiset kohteet sekä hyvät käytänteet ovat tärkeä pääoma yrityksen suunnittelukulttuurin rakentamisessa ja ylläpitämisessä. Ei ole turhaan sanottu, että tieto on valta ja oikein käytettynä jopa ylivaltaa.

Suunnittelun toimintaympäristö ja siihen vaikuttavat tekijät ovat kohtia, joiden ymmärtäminen edesauttaa suunnittelun kannalta oleellisten asioiden löytämistä. Tyypillisesti automaatio-suunnitteluprojektiin osallistuu useita tahoja (kuva 1), mutta kaikki näistä tahoista eivät ole

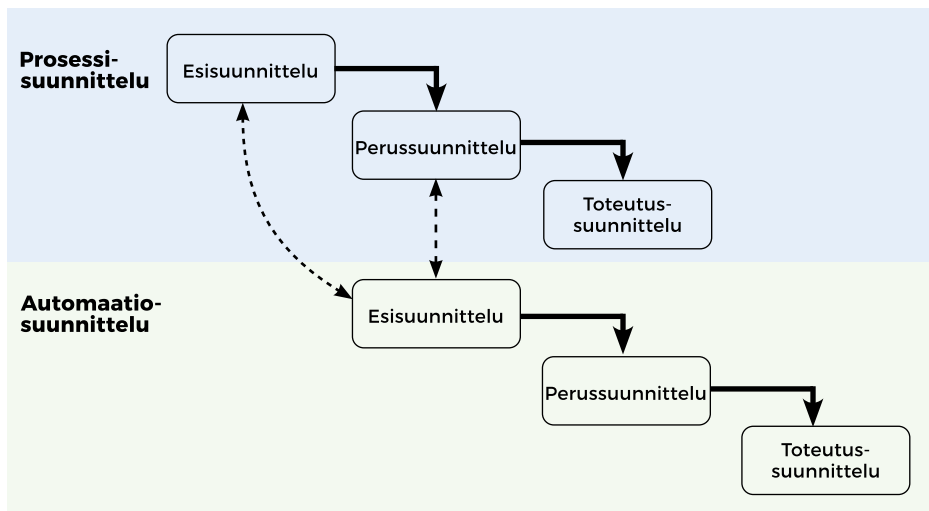
mukana kokoaikaisesti, esimerkiksi toimittajien ja urakoitsijoiden valinta on usein järkevää tehdä vasta projektin myöhäisemmässä vaiheessa. Tämä projektidynamiikka tuo haasteen erityisesti tiedon hallintaan ja jakamiseen. Kun mukaan lisätään vielä projekteille tyypillinen tiedon määrän eksponentiaalinen lisääntyminen suunnitelmien tarkentuessa, ymmärretään, kuinka tärkeässä ja merkittävässä roolissa dokumentointi ja tiedonjakaminen ovat projektin onnistumisen kannalta. (Prosessin hallinta -automaation tehtäväkuvaus 1992, 30.)



Kuva 1. Automaatiosuunnittelun liittyvät osapuolet (Prosessin hallinta -automaation tehtäväkuvaus 1992, 29)

Pohjimmiltaan suunnittelussa pyritään luomaan uutta informaatiota saadun ja jo olemassa olevan tiedon perusteella ja näin tuottamaan tilaajalle kaikki tarpeelliset suunnitelmat ja dokumentit järjestelmän toteutusta ja käyttöönottoa varten. Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, suunnittelun aikaista tietoa ja informaatiota kertyy paljon, ja sitä saadaan ja jaetaan usean eri tahon kesken. Suunnittelun onnistumisen kannalta tämän kertyneen informaation käsittely ja tallentaminen on hyvin olennaista. Ei kuitenkaan ole yksiselitteistä tunnistaa oman työn kannalta merkityksellinen tieto tästä suuresta tietomäärästä. Ongelmakohtaksi voi muodostua muun muassa tiedon epävirallisuus, kuten käytäväkeskustelut, asiantuntemuksen erot ja ihmisten erilaiset esitystavat. Nämä ristiriidat yhdessä kiireen, vajavaisten lähtötietojen ja useiden muutosten kanssa muodostavat suunnitteluprosessiin harmaita alueita, joiden takia tieto ei tavoita ajoissa oikeita henkilöitä, ja vaikeuttavat näin suunnittelutyön etenemistä. (Strömman ym. 2010, 8, 27.)

Termiä automaatio suunnittelu käytetään usein yleisnimikkeenä puhuttaessa automaattisten tuotantolaitosten suunnittelusta. Instrumentointisuunnittelu on osa tätä kokonaisuutta, ja sen ytimeen voidaan katsoa kuuluvan yksittäisten laitteiden hankkiminen, asentaminen, käyttöönotto sekä näitä koskeva dokumentointi että suunnittelu. Yleinen käytäntö on ottaa automaatio suunnittelu suunnitteluprosessiin mukaan vasta prosessisuunnittelun edettyä perussuunnitteluvaiheeseen (kuva 2). Automaatio ratkaisujen vähäinen huomioiminen prosessin teknisissä ratkaisuissa aiheuttaa pahimmillaan tilanteen, jossa prosessi on teknisesti toimiva, mutta sen säätäminen ja ohjaaminen automaation avulla on hankalaa tai jopa mahdotonta. Automaatio suunnittelun toimiessa kuvatussa toimintaympäristössä on yhteistyöhön ja tiedon välittämiseen kiinnitettävä erityistä huomiota. (Prosessin hallinta -automaation tehtäväkuvaus 1992, 30.)

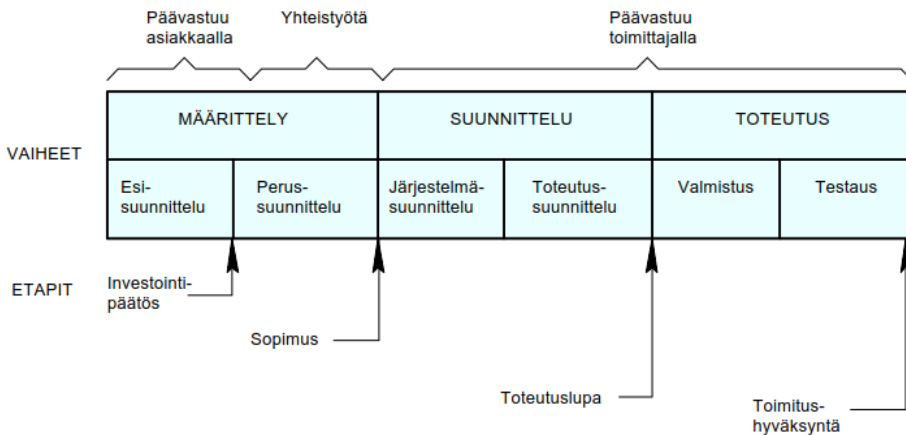


Kuva 2. Prosessi- ja automaatio suunnittelun vaiheistukset (Prosessin hallinta -automaation tehtäväkuvaus 1992, 31)

Automaatio suunnitteluprojektia ja sen etenemistä voidaan tarkastella elinkaarimallinäkökulmasta, jossa projekti jaetaan suunnittelun eri vaiheisiin. Todellisessa toimintaympäristössä suunnitteluvaiheesta toiseen siirtymisen rajat eivät kuitenkaan ole aina selkeästi havaittavissa, mutta niiden olemassaolo on tärkeä ymmärtää hahmotettaessa koko suunnitteluprosessinaikaista tiedonkulkua. Suunnittelun aikaiset vaiheet esiintyvät kirjallisuudessa hieman erilaisin painotuksin, mutta yhteisenä tekijänä niissä on projektinaikaisen kokonaisuuden samankaltaisuus, jossa toiminnon nähdään eteenpäin menevänä jatkumona. (Pyyskänen 2013, 54; Strömman ym. 2010, 27; Tommila 2012, 34.)

Suunnittelun pelkistetystä elinkaarimallirakenteesta on erotettavissa kolme selkeää suunnittelun päävaihetta (kuva 3): määrittely, suunnittelu ja toteutus. Suunnitteluvaiheiden

sisältöjä ja niissä tehtäviä päätöksiä kuvataan tarkemmin muun muassa Tommilan teoksessa (2012). Tommilaa (2012, 37–94) mukailten suunnittelun vaiheet jakautuvat sisällöllisesti karkeasti niin, että *määrittelyvaiheessa* suunnittelu keskittyy kuvaamaan selkeät tavoitteet ja rajoitteet hankittavalle järjestelmälle tai muutoksen kohteelle. Tämä vaihe pitää sisällään myös lopputuloksen kannalta tärkeän käyttäjävaatimuskartoituksen, johon kootaan käyttäjien ja prosessin asettamat vaateet ja tarpeet. Kartoituksen onnistumiseksi prosessia ja käyttäjien kommentteja tarkastellaan usealta eri kantilta, joiden avulla pyritään löytämään myös piilossa olevat tarpeet ja vaatimukset. Määrittelyvaiheen aikaiset päätökset ja rajaukset ovat hyvin ratkaisevia suunnittelun onnistumisen kannalta, sillä nämä dokumentoinnit ja määritykset toimivat myöhempien suunnitteluvaiheiden lähtötietoina. *Suunnitteluvaiheessa* keskitytään tarkentamaan aiempien suunnitteluvaiheiden tietoja. *Toteutusvaiheen* tärkeimpinä toimintoina puolestaan ovat laitteiden ja ohjelmistojen käyttöönottoa varten tehtävät asennukset sekä testaukset.



Kuva 3. Automaatiojärjestelmän elinkaarimalli (Tommila 2012, 63)

Insinööriyötutkimuksen lähtökohtana oli tunnistaa tehokkaan ja onnistuvan tietokantasuunnittelun kriittisiä kohtia ja hyviä käytänteitä. Tutkimuksen tavoitteena oli koostaa ytimekäs listaus suunnittelun kannalta tärkeistä elementeistä yrityksen käyttämä tietokantasovellus huomioiden. Tutkimus suoritettiin haastatteleamalla suunnitteluprojektin eri rooleissa toimivia suunnittelijoita sekä analysoimalla olemassa olevien ohjeiden antamaa informaatiota tietokantasuunnittelunäkökulmasta.

Tutkimustuloksien valossa tieto, tiedon kirjaaminen tietokantaan ja nimenomaan sen kirjaaminen oikeassa muodossa nousevat avaintekijöiksi onnistuvassa suunnitteluprosessissa. SWOT-analyysin avulla havaitut yksittäiset tärkeät ja kriittiset kohdat kohdistuvat erityisesti tiedon oikea-aikaiseen saantiin, kulkuun sekä systemaattiseen ja laadullisesti riittävän hyvään käsittelyyn (taulukko 1).

Taulukko 1. Tietokantasuunnittelun avaintekijät

Vahvuudet	Heikkoudet
- Tieto yhdessä paikkaa ja kaikkien saatavilla	- Tiedon syöttäminen oikeassa muodossa on hyvin kriittinen tietokannan käytettävyydelle
- Tietokannan perusta pääkäyttäjien hallinnassa	- Työtilan puute pakottaa muokkamaan tietokannan tietoa toisaalla
Onnistumisen vaatimukset	Uhat
- Tieto syötetään sovitussa muodossa, sovitulla koodistolla ja kaikki toimivat samoin	- Epäselvät ohjeet / tieto ei tavoita kaikkia
- Käyttäjien oikeudet riittävät työnkannalta välttämättömiin toimiin	- Tiedon syöttämien periaatteet liian monimutkaiset: useita apukenttiä ja koodistoa sekä muistettavia asioita
- Kaikki projektissa mukana olevat tietävät toimintaperiaatteet ja osaavat käyttää ohjelmaa riittävällä tasolla	- Luetteloiden ja listojen tuottaminen sekä lajittelu vaatii tiedon syöttämistä yhdenmukaisuutta
- Kaikki suunnittelun perustoiminnot ja ohjeet ovat valmiina riittävän aikaisessa vaiheessa (dokumenttipohjat, tuotekirjastot, jne.)	- Kiire-, aikataulu- tai ymmärrysongelmasta johtuen, tieto ei päivity kaikkiin käytössä oleviin tietokantoihin
- Tiedon saaminen työn kannalta oikeaan aikaan	
- Pääkäyttäjätuki ja -apu	
- Avustavien tietokantojen räätälöinti niin, että tekijästä riippumatta tuotos on samanlaista (revisointi, luettelot ja listat)	

Tietokannan tehokas hyödyntäminen suunnittelun aikaisten dokumenttien tuottamisessa edellyttää työntekijöiltä yhtä lailla systemaattista ja kurinalaista työskentelyä tiedon kirjaamisessa, kuin myös käytettäviltä ohjeilta riittävää tarkkuutta ja yksinkertaisuutta. Suunnittelutyö sisältää virallisten dokumenttien tuottamisen lisäksi paljon myös väliaikaisten luetteloiden ja listojen koostamista. Näiden epävirallisten työlistojen sekä virallisten dokumenttien koostamisen edellytyksenä on luotettava tietokanta. Tietokannassa olevaa aineistoa suodattamalla ja ryhmittelemällä voidaan suurestakin tietomäärästä koostaa pienellä työmäärällä halutunlaisia dokumentteja eri tarkoituksia varten. Tehokkuuden kannalta on erittäin tärkeää, että haluttu tieto on yksiselitteisesti tunnistettavissa hanka-

limmillaan tuhansien rivien joukosta. Epäkurantti tietokantatieto aiheuttaa epätäydellisen dokumentoinnin lisäksi myös merkittävää tehokkuuden alentumaa itse suunnittelutyöhön. Työtehoa ei huku vain rivien manuaaliseen tarkistukseen, vaan myös muutoshallintatarve kasvaa virheiden myötä. Virheet tiedonsyöttämisessä tuottavat siis pahimmillaan moninkertaisen työmäärän.

Riittävät ja tarkoituksenmukaiset työvälineet, ymmärrys, ohjeet, oikea-aikainen tiedon saanti sekä organisointi ovat avainasemassa onnistuvalle ja tehokkaalle suunnittelulle. Mitä enemmän tietoa tulee myöhässä ja mitä epämääräisemmillä ohjeilla kukin suunnittelija tekee työtään, sitä enemmän on mahdollisuuksia virheiden syntymiselle sekä niistä johtuvalle päivitystarpeelle. Lumipalloilmiön välttäminen on työn tehokkuuden ja luotettavuuden kannalta oleellista. Vaikka projektin aikana tapahtuu väistämättä muutosta ja päivitystarvetta, kestävän toiminnan kannalta on kuitenkin järkevää pyrkiä ennaltaehkäisemään suunnittelutyön kannalta kriittisten kohtien ja toimintatapojen vaikutusta lopputulokseen. Ohjeiden laatiminen ja toimintamallien tutkiminen ovat tässä työssä oiva apu, sillä ne pakottavat analysoimaan sekä havainnoimaan omaa toimintaa sekä niissä tapahtuvia syy-seuraussuhteita.

Selkeiden sekä yksinkertaisten suunnitteluohjeiden ja hyväksi havaittujen toimintamallien avulla on mahdollista siirtää osaamista laajemmalle joukolle ja näin edesauttaa perusosaamisen siirtymistä henkilöltä organisaatioon. Hyvän ja tehokkaan perusosaamisen voidaan nähdä myös rakentavan yrityksen imagokuvaa: tehokas sekä laadukas suunnittelu- ja dokumentointityön ovat merkittävä kilpailutekijä markkinoilla. Suunnitteluosaamisen pysyminen ja jatkuvuus yrityksen pääomana on siis keskeinen avaintekijä yrityksen menestystarinassa, jota ei kannata aliarvioida.

LÄHTEET

Prosessin hallinta – Automaation tehtäväkuvaus. 1992. Suomen Automaatio Tuki Oy.

Pyyskänen, S. 2013. Teollisuuden automaatio ja ohjausjärjestelmät - Standardien valinta ja käyttö. Suomen Automaatioseura ry. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1367/standardikirja.pdf> [viitattu 21.09.2020].

Strömman, M., Hirvonen, J., Hukki, K. & Tommila, T. 2010. Automaatiosuunnittelun prosessimalli - Yhteiset käsitteet verkottuneen suunnittelun perusteena. Suomen Automaatioseura ry. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1367/automaatiosuunnittelun_prosessimalli.pdf [viitattu 21.09.2020].

Tommila, T. (toim.) 2012. Laatu Automaatiossa - Parhaat käytännöt. Suomen Automaatioseura ry. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1367/laatuautomaatiossa.pdf> [viitattu 21.09.2020].

DIGITALISAATION JA TEKOÄLYN HYÖDYNTÄMINEN JÄRVI-SUOMEN ENERGIAN VIANHALLINASSA

Tommi Öster & Juha Korpijärvi

Asiasanat: digitalisaatio, tekoäly, ohjelmistorobotiikka, API-rajapinnat, sähköverkko, vianhallinta

Suuremmissa häiriötilanteissa, kuten myrskyissä ja lumikuormatilanteissa, korostuu sähköverkkoyhtiöiden vianhallinnan organisointikyky. Varsinkin suuressa häiriötilanteessa tiedon- ja sen käsittelyn tarve voi kasvaa useampisatakertaisiksi normaalitilanteeseen nähden. Tehokkaampi ja nopeampi tiedonkäsittely ja sitä kautta organisointi säästää kustannuksia ja nopeuttaa osaltaan yhteiskunnan palautumisen normaalitilanteeseen nopeammin.

DIGITALISAATIO

Digitaalisuudessa on pohjimmiltaan kyse digitaalisessa muodossa olevasta tiedonhallinnasta. Digitaalista tietoa kerätään kasvavia määriä, jolloin suuren datamäärän hyödyntäminen muodostuu kuitenkin haasteeksi. Digitaalisuus ja sitä kautta tapahtuva tiedon hyödyntäminen mahdollistaa entistä paremman palvelujen tarjoamisen, ennakoinnin ja kohdentamisen, jota kautta asiakkaat saavat palvelusta lisäarvoa. (Nenonen 2015, 72–73.) Tiivistettynä digitalisaatio mahdollistaa johtajille parempaa ja yksityiskohtaisempaa näkökulmaa päätöksenteon tueksi. Datamäärä ja informaatioteknologian mahdollistamat prosessit mahdollistavat johtajien ohjata toimintaa reaaliajassa suhteellisen pienillä kustannuksilla. (Schildt 2019, Chapter 2.) Kasvavan datamäärän lisäksi haasteeksi alkaa muodostua, kuinka datamassasta seulotaan ja jalostetaan uutta tietoa. Data on usein hajallaan eri pilvipalvelutarjoajien alustoilla, ja digitalisaation todellinen arvo saadaan ulosmitattua eri järjestelmien integraatiosta, jolloin kaikki tarvittava data saadaan kerättyä yhteen. (Latvanen 2019, 30.) Data itsessään ei riitä, vaan hyödyntääkseen täysin digitalisaatiota yritysten tulee kehittää kykyä ketterästi optimoida ja hallita tärkeimpiä prosessejaan dataperusteisesti. Digitaalisen datan hyödyt jäävät rajallisiksi, jolleivät yritykset pysty hyödyntämään sitä älykkäässä automaatiossa. (Schildt 2019, Chapter 2.)

NYKYTILA

Sähköverkon hallinta ja vianhallinta on ollut digitaalista jo pitkän aikaa, joten digitalisaatio ei varsinaisesti ole mikään uusi asia. Data on kuitenkin pitkälti siiloutunut eri prosessijärjestelmiin. Joitakin järjestelmien välisiä rajapintoja on käytössä, mutta lukuun ottamatta SCADAn ja kytkennänhallintajärjestelmän välistä rajapintaa tieto liikkuu lähinnä prosessin mukaisesti eikä kokonaisnäkemyistä tietovirtojen hallinnasta pystytä muodostamaan. Datan rikastaminen ja käsittely suoritetaan pitkälti manuaalisesti, joka etenkin ruuhkatilanteissa aiheuttaa pullonkaloja sekä vikaimpulssien keräämisen volyymin kanssa että impulssidatan rikastamisen ja eteenpäin välittämisen suhteen. Manuaaliselle käsittelylle aiheutuu rajoitteita myös sitä kautta, että osaavaa henkilöstöä on rajallinen määrä hyödynnettäväksi. Lisäksi etenkin keskijänniteverkon vikapaikkadatan arvo vanhenee suhteellisen nopeasti, tuntien kuluttua vikapaikka on jo voitu käydä fyysisesti etsimässä autolla ja kävellen. Suurhäiriötilanteessa, jossa vikapaikkoja voi olla satoja, kumulatiivinen hyöty suuresta vikaimpulssimäärän keräämisestä ja sen nopeasta käsittelystä on merkittävä.

Datan ja tietovirtojen seuranta ja mittaamista ei pystytä myöskään kattavasti suorittamaan datan siiloutumisen takia. Tietovirtojen tilanne ja solmukohtat jäävät johtamisen näkökulmasta monilta osin näkymättömäksi. Tilannetietoa toki vaihdetaan suullisesti siltä osin, mitä pystytään havaitsemaan, mutta datapohjaista tilannekuva ei pystytä kovinkaan kattavasti kokoamaan. Datapohjaisella tietovirtojen hallinnalla ja keräämisellä voidaan vaikuttaa suoran operatiivisen päätöksenteon lisäksi myös sekä prosessien että teknologian kehityskohteiden kartoittamiseen.

Esimerkkinä suurhäiriötilanteessa asiakaspalvelu. Riittävästi ylöspäin skaalautuvaa asiakaspalveluresurssia on käytännössä mahdotonta saada volyymien noustessa hetkellisesti satakertaisiksi. Tämän takia perinteisesti vikapaikkailmoittajat pääsevät puhelujonossa sattumanvaraisesti läpi, minkä takia periaatteessa saatavilla olevasta tiedosta huolimatta vika joudutaan etsimään monessa tapauksessa hitaasti maastossa.

TAVOITETILA

Ylätason tavoitteena on kehittää tiedon keräämistä, jalostamista ja sitä kautta automatisoida koko vianhallintaprosessi mahdollisimman pitkälle. Kaikki vikatietueeseen liittyvä informaatio eri prosessijärjestelmistä kerätään, yhdistetään ja jalostetaan automaattisesti mahdollisimman pitkälle. Tavoite on lopulta päästä mahdollisimman automatisoituun ja valvottuun prosessiin, jossa ainoastaan fyysinen viankorjaus suoritetaan manuaalisesti ja muuten ihminen valvoo tietovirtoja.

Mahdollisimman pitkälle automatisoitu prosessi kerää digitaalisia vikaimpulseja kattavasti eri lähteistä, muuttaa niitä digitaaliseen muotoon esimerkiksi tekoälyn avulla, minkä jäl-

keen jalostetaan data mahdollisesti eteenpäin toimitettavaksi. Lopuksi valmiiksi jalostettu vikaimpulssidata voidaan automaattisesti välittää korjaavalle työryhmälle. Varsinaisen prosessin automaation lisäksi merkitsevästi toimii myös päätöksentekokerros. Rutiininomainen tiedonkäsittely voidaan nykyisellä teknologialla automatisoida pitkälle. Suurista odotuksista huolimatta tekoäly kykenee kuitenkin vain kapeiden ongelmien ratkaisuun, joten suurten kokonaisuuksien abstrakti päätöksenteko tulee hoitaa ihmisaivoilla. Ihmisaivot pystyvät kuitenkin käsittelemään vain rajallisen määrän tietoa kerralla, joten päätöksentekoa voidaan optimoida keräämällä ja jalostamalla eri lähteiden data omaksuttavaan muotoon. Pidemmän aikavälin tavoitteena on tuottaa ennakoivaa analytiikkaa päätöksenteon tueksi.

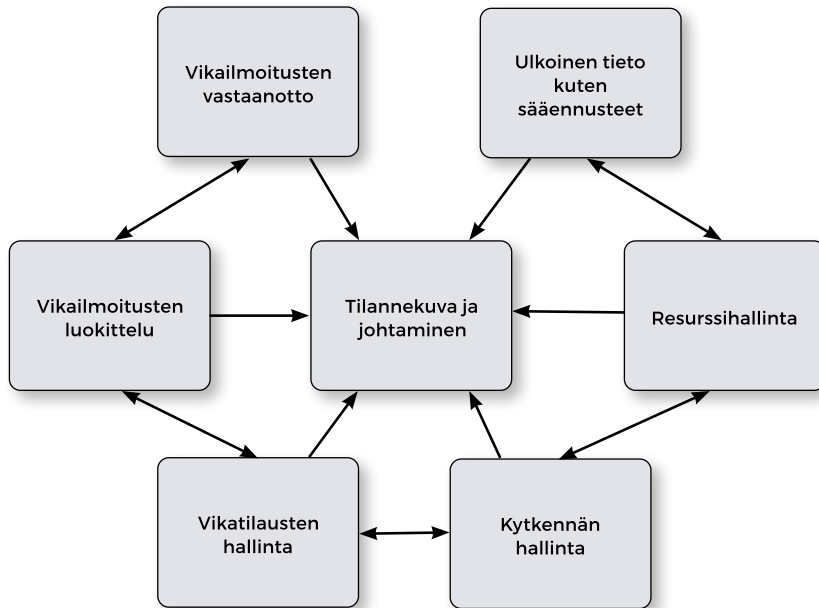
DIGITALISOINNIN ASKELEET

Yhdenmukainen tietue läpi prosessin vähentää piilotyötä merkittävästi. Häiriöorganisaatio koostuu useista toimijoista ja yrityksistä, jotka eivät toimi samassa tilassa, joten tieto ei välity kaikille kattavasti luonnollisesti. Mitä kattavampaa tietoa asiakkaille voidaan tarjota viestinnän kautta, sitä vähemmän heillä on tarvetta ottaa yhteyttä. Vastaavasti asiakaspalvelijalla kattavasti tiedossa olevan tilannetiedon perusteella ei nouse selvitystarvetta eikä kummankaan puolista uudelleen yhteydenottotarvetta. Tehtävien ja korjausjärjestyksen optimoinnin takia on hyödyllistä, että kaikilla on tiedossa mahdolliset vikapaikat mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Vastaavasti häiriötilanteen johtamisen kannalta vikatietue antaa kattavampaa näkemystä. Markkinoilta löytyy valmiita ratkaisuja tähän.

Ainakin teknisesti asiakkaat saadaan ohjattua vikapuhelinnumerosta saatavalla SMS-linkillä mobiililaitteella toimivalle vikailmoituslomakkeelle, jolloin ilmoituksia saadaan kerättyä kylä tehokkaasti, mutta seuraavaksi tulee ratkaistavaksi ilmoitusten käsittelyjono. Ilmoitusten data on sähköistä, mutta niin sanotusti strukturoimattomaa, eli tietokone ei ymmärrä ilman sille kertomista, mitä kuvassa tai kuvailevassa tekstissä on. Tämän tyyppiseen ongelmaan tekoäly on hyvä ratkaisu, ja kuvan hahmontunnistuksella ja tekstintunnistuksella voidaan luokitella vikailmoitus automaattisesti, kunhan tekoälyalgoritmi on riittävän kehittynyttä. Näin ilmoitusta voidaan verrata käytössä olevaan vikatietueeseen ohjelmistorobottien tai älykkäiden rajapintojen kautta. Myös automaattista datan jalostamista, esim. asiakkaiden etäluettavia mittareita, hyödyntämällä voidaan suorittaa.

Kokonaiskuvan muodostamista ja päätöksenteon tehostamista varten tilannekuvajärjestelmää voidaan kehittää keräämään dataa yhteen. Ohjelmistorakenne on perinteisesti muodostunut prosessijärjestelmien perusteella. Käytössä on lukuisia prosessijärjestelmiä, jotka hoitavat omaa osaansa kokonaisuudesta. Keskittämällä rajapintojen avulla kriittisen prosessidatan yhteen pystytään muodostamaan kattavaa tilannekuvaa, tunnuslukuja ja mittaristoja häiriötilanteen etenemisestä. Oleellisia yhteen kerättäviä asioita on ainakin resurssinhallinta, vianhallinta, tilausten hallinta, asiakasilmoitusten kanavat ja sääennusteiden vaikuttavuus. Näin saadaan yhdistettyä kattava ja helposti ymmärrettävä kokonaisuus

häiriötilanteen volyymeista, vaurioiden vaikuttavuudesta, läpimenoajoista, mahdollisista puollonkaloista ja oletetusta toipumisajasta. Johtamismielessä päätöksenteko tarkoittaa käytännössä mahdollisimman optimaalisen strategian valintaa. Kuva 1 mukaisesti eri järjestelmien big datasta kerätään oleelliset tiedot, jotka käsitellään helposti havainnoitavaksi ja hyödynnettäväksi tiedoksi tilannekuvajärjestelmässä.



Kuva 1. Tiedonkeräämisen periaatteellinen kokonaisuus (Tomi Öster)

Kytken johtamisessa voidaan hyödyntää automatiikkaa huomattavan paljon enemmän aikaisempaan verrattuna. Myrskyn käynnistyessä tekemisen määrä kasvaa nopeasti hyvinkin suureksi, jolloin automatiikan potentiaalilla on suurin arvo. Vikoja voidaan rajata automaatiikalla, jossa hyödynnetään verkkoon asennettuja antureita vika-alueiden haarukoimisessa. Työryhmiä voidaan myös tilata töihin automaattisilla töihinkutsuilla, jolloin robotti soittaa henkilöstöä läpi ja lähettää työtilauksen hyväksyneille henkilöille SMS-viestillä kohteen ja työparin tiedot. Järjestelmän älykkyyttä voidaan myös tulevaisuudessa kattavammin hyödyntää korjausjärjestyksen priorisoinnissa, esimerkiksi mitkä alueet ovat olleet pitkään sähköttömänä, missä on yhteiskunnan infrastruktuurin kannalta kriittisiä kohteita jne. Lisäksi asiakasviestintää voidaan kehittää kohdennetumpaan suuntaan siirtämällä viestintävastuuta mobiililaitteilla enemmän kentälle, jolloin saadaan realistisempia korjausaika-arvioita.

YHTEENVETO

Vaikka lopulta tavoitteena on mahdollisimman automatisoitu prosessi, kaikkea ei kannata lähteä ratkaisemaan kerralla. Kokonaisuudesta tulee liian raskas kehitettävä, ja muodostuu riski, että kattava uusi ohjelmisto on vanhentunut jo käyttöönottoaiheessa. Vastaavasti jos lähdetään toteuttamaan yksi askel kerrallaan, venyy kehitystyö liian pitkäksi. Ratkaisu on modulaarisuus, jossa kokonaisuutta ja järjestelmäympäristöä kehitetään rinnakkain usealla eri osa-alueella.

Suunnitelman alkupään mukaisesti toiminnallisia, yksittäisiä toimintaa parantavia osa-alueita on todennäköistä saavuttaa kohtuullisen pienelläkin kehitystyöllä. Mitä pidemmälle kehitystyössä mennään ja tietovirrat integroituvat, muuttuu kehittäminen haasteellisemmaksi. Toisaalta teknologian kehitysvauhdilla muutamassa vuodessa avautuu todennäköisesti taas uusia mahdollisuuksia. Toisena merkittävänä kysymyksenä automatisoinnin suhteen on työturvallisuus: mihin asti voidaan automaatio ulottaa korkeajännitteisessä sähköverkossa työskennellessä? Toisaalta paremmalla automaation hallinnalla turvallisuutta voidaan parantaa.

LÄHTEET

Latvanen, K. 2019. Bensa digitalisaatiolle. Tivi 1, 30.

Nenonen, M. & Haapala, A. (toim.) 2015. Kestävää hyvinvointia kehittämässä. Painoalan vuosijulkaisu. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104400/URNIS-BN9789515885371.pdf?sequence=1> [viitattu 8.5.2019].

Schildt, H. 2019. The Data Imperative. Draft version, May 27.

ATEX-TILOJEN ILMANVAIHTO

Elmeri Heinonen & Jarmo Tuunanen

Asiasanat: Atex, ilmanvaihto, tärpätti

Ilmanvaihtosuunnittelijan on tunnettava tilojen ominaisuudet ja erityispiirteet, joihin hän suunnittelee ilmanvaihtoa. Kohteet, joihin ilmanvaihtoa suunnitellaan, voivat olla paikoin haastaviakin. Esimerkki haastavasta kohteesta on räjähdysvaarallinen tila eli Atex-tila. Tällaisissa tiloissa ilmanvaihdon luotettava ja häiriötön toiminta on ehdottoman tärkeää, sillä ilmanvaihto ei takaa hyviä sisäilmasto-olosuhteita vaan myös osaltaan hallitsee olosuhteita niin, ettei räjähdysvaarallisia ilmaseoksia pääse syntymään.

Opinnäytetyö rajattiin käsittelemään kaasuräjähdysvaarallisten tilojen ilmanvaihtoa suunnittelijan näkökulmasta, sillä etenkin näissä tiloissa ilmanvaihdolla on suuri merkitys kaasuräjähdysvaarallisen ilmaseoksen syntymisen estämisessä sekä räjähdysvaarallisen alueen ulottuvuuden hallitsemisessa.

Tilaluokitus perustuu Atex-olosuhdedirektiiviin 1999/92/EY, joka säätelee Atex-tiloille asetettuja vaatimuksia. Atex-tilat on merkittävä räjähdysvaarasta kertovalla merkillä, joka on esitetty kuvassa 1 /1/.



Kuva 1. Atex-tiloista varoittava merkki /1/

Tilaluokitus määräytyy sen perusteella, miten usein ja kuinka kauan räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy. Atex-luokitukset direktiivin mukaisesti on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Räjähdyksvaarallisten tilojen tilaluokitusten määritelmät /2/

Tilaluokka 0	Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
Tilaluokka 1	Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.
Tilaluokka 2	Tila, jossa toisaalta ilman ja toisaalta kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseoksen esiintyminen on normaalitoiminnassa epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.
Tilaluokka 20	Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
Tilaluokka 21	Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.
Tilaluokka 22	Tila, jossa toisaalta ilman ja palavan pölyn muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.

Tilaluokat nolasta kahteen ovat kaasuräjähdyksvaarallisia tiloja. Tilaluokka nolla on vaarallisin tila ja tilaluokka kaksi vähiten vaarallinen tila. Tilaluokituksen tueksi kaasuräjähdyksvaarallisiin tiloihin on olemassa EN standardi 60079-10-1 /3/ ja SFS- käsikirja 59 /4/.

Atex-tiloissa käytettäväksi tarkoitetuista laitteista ja niiden yleisistä vaatimuksista ja merkinnöistä säädetään Atex-laitedirektiivissä 94/9/EC. Direktiivin lisäksi Atex-tilojen laitteita käsitellään EN-standardissa EN IEC 60079-0:2019. Direktiivin ja standardin terminologia poikkeavat toisistaan hieman. Atex-tiloihin laitetta valittaessa saakin olla tarkkana, että laite täyttää sille asetetut vaatimukset. Taulukossa 2 on esitetty koottuna Atex-laitedirektiivin sekä Atex-laitteita käsittelevän standardin EN60079-0 käytetyt laiteluokitukset. /5./

Taulukko 2. Atex-laitteiden luokittelut standardin ja direktiivin mukaan /6/

Tilaluokat ja ryhmät			Vaaditut laitemerkinnät		
Syttyvät materiaalit	Räjähdysvaarallisen ilmanan hetkelliskäyttö	Räjähdysvaaralliset tilaluokat	Räjähdysryhmä direktiivin mukaan	Laite-luokka direktiivin mukaan	Laite-ryhmä standardin mukaan
Kaasut, höyryt	Jatkuvasti tai pitkäaikaisesti tai toistuvasti	Tila-luokka 0	II	1G	II
	Normaalitoiminnassa satunnaisesti	Tila-luokka 1	II	2G/1G	II
	Ei todennäköisesti esiinny normaalitoiminnassa, tai kestää vain lyhytaikaisesti	Tila-luokka 2	II	3G/2G/1G	II
Pölyt	Esiintyy pilvimuodossa jatkuvasti tai pitkäaikaisesti tai toistuvasti	Tila-luokka 20	II	1D	III
	Kehittyy satunnaisesti pilveksi normaalitoiminnan aikana	Tila-luokka 21	II	2D/1D	III
	Kehittyy korkeintaan vain lyhyeksi ajaksi pilveksi normaalitoiminnan aikana	Tila-luokka 22	II	3D/2D/1D	III
Kaivoskaasut (metaani, hiilipöly)	Toiminta, jossa räjähdysriski		I	M1	I
	Toiminnassa ei räjähdysriskiä		I	M2/M1	I

MENETELMÄT JA TAVOITTEET

Opinnäytetyössä aihetta lähestyttiin tutustumalla Atex-tilojen vaatimuksia määritteleviin lainsäädäntöihin, direktiiveihin, standardeihin sekä aihetta käsittelevään kirjallisuuteen. Opittua teoriaa sovellettiin case-esimerkkiin, jona toimi teollisuudessa sijaitseva tärpätin-pumppauskoppi. Ilmanvaihdon ilmapirtaa mitoitettiin kohteeseen päästöperusteisesti, ja vertailtiin olemassa olevan ohjeellisen ilmanvaihtokertoimen riittävyyttä asetusten asettamiin vaatimuksiin. Lisäksi tutkittiin tilan ilmanvaihtojärjestelmän vaikutusta kaasuräjähdysvaarallisen ilmaseoksen syntymiseen ja sen hallintaan.

Tutkimuksessa ilmavirta mitoitettiin tilaan kolmella eri periaatteella. Yhtenä mitoituspusteena käytettiin olemassa olevaa ohjeellista ilmanvaihtokerrointa. Tieteellisemmissä mitoitustavoissa pitää aina arvioida tilan päästömäärät, jolloin mitoitus perustuu lukuarvoon. Ilmavirtoja ja niiden vaikutusta tilaräjähdyksvaaralliseen pitoisuuteen tarkasteltiin myös ajasta riippuvaisena. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin, kuinka suuri vaikutus onkaan lopulta tilan päästömäärien arvioinnilla tilaan tarvittavaan ilmavirran määrään.

Opinnäytetyön keskeisimpiä tavoitteita olikin selvittää ilmanvaihdon suunnitteluprosessin kannalta erityishuomiota vaativat kohdat sekä se, mitä vaatimuksia ilmanvaihdolle räjähdysvaarallisissa tiloissa on asetettu. Lisäksi tavoitteena oli selvittää ohjeellisia periaatteita näihin vaatimuksiin pääsemiseksi sekä arvioida olemassa olevan ja paljon käytetyn ohjeellisen ilmanvaihtokertoimen riittävyyttä ilmanvaihdolle. Valmista avaimet suunnittelijoiden käteen tarjoavaa opusta ei kuitenkaan ollut tarkoitus toteuttaa vaan antaa perustietoa ja lähtökohtia räjähdysvaarallisten tilojen ilmanvaihdon kanssa työskenteleville.

PÄÄSTÖJEN ARVIOINTI

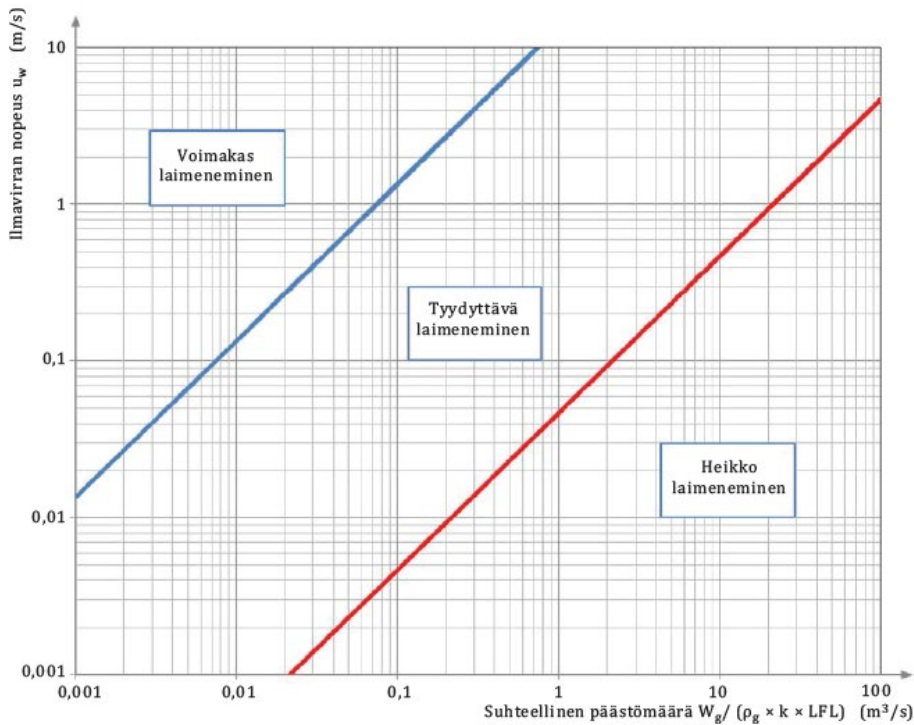
Päästöjen arviointi jakaantuu kahteen osaan: päästöluokan määrittämiseen sekä päästömäärän arviointiin. Päästölähteet voidaan jakaa kolmeen päästöluokkaan sen perusteella, kuinka usein ja todennäköisesti räjähdysvaarallinen ilmaseos esiintyy. Päästöluokat ovat jatkuva, primäärinen ja sekundäärinen päästöluokka.

Päästölähteen määrän arviointiin on standardissa EN 60079-10-1 annettu ohjeellisia laskentayhtälöitä erilaisille päästöille. Näitä yhtälöitä voidaan soveltaa laskettaessa päästömäärää aikayksikköä kohti. Tutkimuksessa tutustuttiin nestepäästön laskentaan putkistosta ja sen varusteista. Päästömäärää käytetään perusteena ilmanvaihdon mitoituksessa.

LAIMENEMISEN ARVIOINTI

Ilmanvaihdon tehokkuutta suhteessa tilan päästöihin voidaan arvioida laimenemisen tehokkuudella. Ilmanvaihto ei kuitenkaan aina vaikuta laimenemisen tehoon. Päästön purkautuessa suurella nopeudella on siihen vaikuttaminen ilmanvaihdolla huomattavasti vaikeampaa kuin pieneen päästön nopeuteen.

Laimeneminen perustuukin päästön suhteelliseen päästömäärään sekä ilmavirran nopeuteen /3/. Laimenemisen arviointiin on standardissa EN 60079-10-1 kaavio, joka on esitetty kuvassa 2. Tuloilmasuihkun tuottamaa suurempaa virtausnopeutta poistoilmavirtaukseen verrattuna voidaankin hyödyntää päästöjen laimentamisessa. Laimenemisen arvioitaessa onkin huomioitava, että pelkällä ilman liikkeellä ei saada hallittua tilan pitoisuuksien nousua.



Kuva 2. Laimenemisen arviointi standardin EN 60079-10-1 mukaan /6/

RÄJÄHDYSVAARAN ARVIINTI

Räjähdyksaarallisen tilan tilaluokitusta täydennetään tilan tarkemmalla riskin arvioinnilla. Riskin arvioinnissa arvioidaan todennäköisyys tilassa esiintyvälle räjähdysolosuhteille ja todennäköisyys sen syttymiselle. Riskin arvioinnissa määritellään vaarallisen alueen laajuus kaikkien riskitekijöiden perusteella. Riskin arvioinnin tekee jokaisen erityisalan asiantuntijoiden muodostama ryhmä, joilla on tietämystä ATEX-tiloista.

TULOKSET

Tärkeimpiä määrittäviä tekijöitä ilmanvaihdon suunnittelussa kaasuräjähdyksaarallisissa tiloissa on tiloihin sallittava suurin pitoisuus. Suurin sallittu pitoisuus on 25 % aineen alemmasta räjähdysrajasta, joka on kullekin räjähtävälle aineelle tyypillinen ominaisuus. Aineen alempi räjähdysraja antaa suuntaa ilmanvaihdon suuruusluokasta. Mitä alhaisemmassa pitoisuudessa räjähtävä aine, sitä suurempiin ilmavirtoihin tulee varautua.

Ilmanvaihdon suunnittelu alkaa tilaa kuormittavien päästöjen laskennalla ja arvioinnilla. Tämä on suunnitteluprosessin haastavimpia työvaiheita, sillä päästöt heijastuvat suoraan

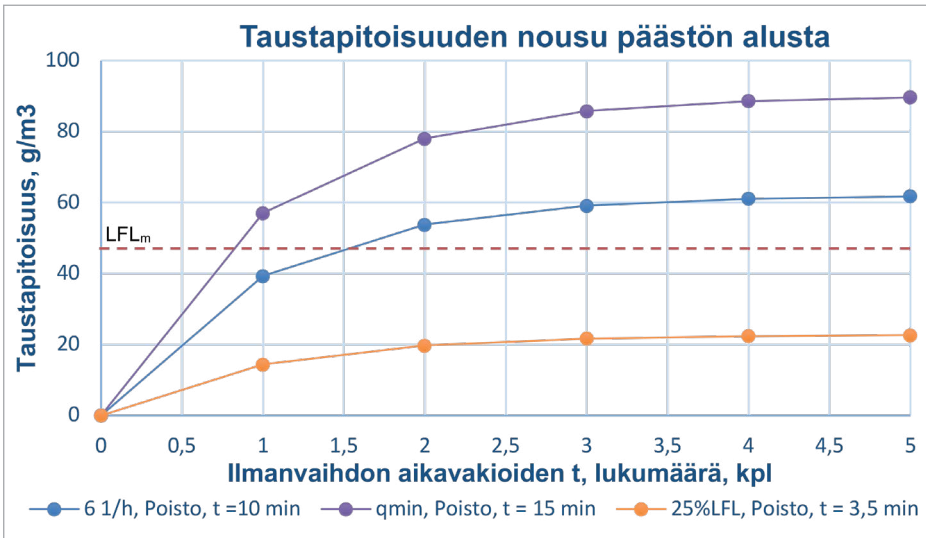
tulevaan ilmamäärään. Päästöjen laskennassa on hyvänä apuna EN standardi 60079-10-1 ja sen liitteet. Päästöjen arvioinnissa arvioidaan päästön suuruus, jonka tilan ilmanvaihto kykenee vielä laimentamaan alle pitoisuuden tavoitearvon. Liian suuri varovaisuus päästönarvioinnissa kostautuu myöhemmin liian suurina ilmavirtoina ja kohonneina käyttökustannuksina.

EN 60079-10-1 -standardin mukaisesti tilan ilmanvaihdolle määritetään tilan ilmansekoittumista kuvaava kerroin. Tämä kerroin vaikuttaa suuresti ilmanvirran määrään. Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla varustetussa tilassa ilma on luonnostaan huomattavasti sekoittuneempaa kuin pelkässä koneellisella poistoilmanvaihtojärjestelmällä varustetussa tilassa. Tällöin pelkällä poistoilmapuhaltimella varustetulla tilalla on tarve huomattavasti suurempaan ilmavirtaan. Näillä lähtötiedoilla tilan ilmanvaihto voidaankin mitoitaa.

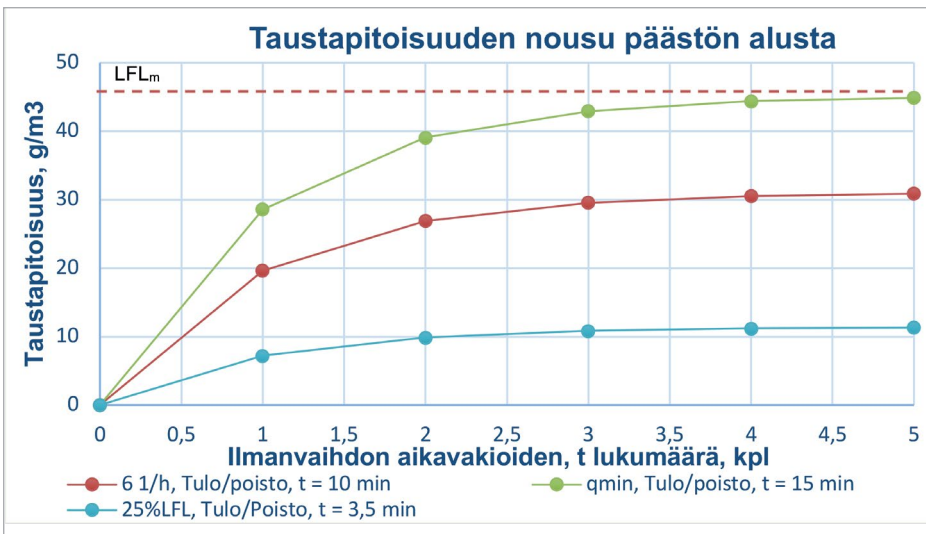
Tilan pitoisuuslaskenta ja sen hallinta on monivaiheinen toimenpide, jossa monta suuretta perustuvat pelkkään suunnittelijan arvioon. Tutkimusten tulosten perusteella ohjeellinen ilmanvaihtokerroin takaa tilassa riittävän ilmanvaihtomäärän, mutta lainsäädännön asettamiin tavoitearvoihin tilan laskennallisella päästömäärällä sillä ei päästä.

On tärkeää arvioida suunnitteluprosessissa erilaisia vaihtoehtoja ja muuttujien vaikutusta tilaa kuormittaviin päästömääriin. Työssä laskettu päästömäärä havaittiin tarkastelujen jälkeen liian suureksi. Laskennassa oli käytetty aiemmin mainittua liikaa varovaisuutta, ja tämä johti päästöjen perusteella mitoittaessa liian suuriin tarvittaviin ilmavirtoihin ja ohjeellisen ilmanvaihtokertoimen täydelliseen riittämättömyyteen.

Tutkimuksessa arvioitiin päästöjen muutosta aikariippuvana. Pitoisuuden muutosta tilassa poistoilmanvaihtojärjestelmällä sekä tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä on esitetty kuvissa 3 ja 4. Kuvissa vaaka- eli x-akselilla on ilmanvaihdon aikavakioiden lukumäärä, jotka ovat eri ilmamäärillä erisuuruiset. Aika, jossa pitoisuus nousee tasapainotilaan, riippuukin siis ilmanvaihtokertoimesta. Päästön ollessa satunnaista ja lyhytaikaista on erityisesti suuremman tilavuuden omaavissa tiloissa mahdollista, että tasapainotilan pitoisuutta ei saavuteta. Tällöin tilan pitoisuuden nousua on syytä tarkastella aikariippuvana.



Kuva 3. Pitoisuuden nousu päästön alettua poistoilmavaihtojärjestelmällä



Kuva 4. Pitoisuuden nousu päästön alettua tulo-/poistoilmavaihtojärjestelmällä.

Tulosten tulkinnassa on tärkeä huomioida myös räjähdysvaarallisen tilan laajuus. Vaikka ilmanvaihdolla saataisiin pidettyä tilan taustapitoisuus aina alle asetuksen määrittelemän raja-arvon, ei tämä tarkoita kuitenkaan koko tilan olevan vaaratonta. Räjähdysvaarallinen ilmaseos saattaa esiintyä päästölähteen läheisyydessä. Lisäksi mahdollisen kohdepoiston sekä tilan poistoilmakanavistossa saattaa esiintyä räjähdysvaarallisia pitoisuuksia.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Räjähdyksvaarallisten tilojen Ilmanvaihdon sekä muussa suunnittelussa tuleekin arvioida yhteistyössä tilaa mahdolliset kuormittavat päästömäärät. Onkin hyvä miettiä, minkä suuruisiin päästöihin tilassa on tarvetta varautua, ja tehdä eräänlaista riskianalyysia. Ilmanvaihtosuunnittelijan on hyvä tuoda esille ja huomioida omassa suunnittelussaan, mitä etuja eri tilan ilmanvaihtojärjestelmillä on.

On tilanteesta ja kohteesta riippuvaa, milloin on lopputuloksen kannalta kannattavinta rakentaa kohdepoistojärjestelmä suoraan päästölähteen lähelle ja milloin on edullisin vaihtoehto laimentaa mahdolliset päästöt koko tilan tilavuuteen ilmanvaihtojärjestelmän avulla.

Päästöt eivät aina ole jatkuvia, eivätkä ne esiinny samansuuruisina ajasta riippumatta. Useille kaasuräjähdyksvaarallisille tiloille onkin tyypillistä, että olosuhteet, jotka mahdollistavat tilassa syntyvän räjähdysriskin, ovat satunnaisia. Tällaisissa kohteissa ilmanvaihdon tehostusmahdollisuus eli säätäminen tarpeen mukaisesti esimerkiksi pitoisuuden ohjaamana on kustannustehokas ratkaisu tilan koko elinkaarta silmällä pitäen.

Tutkimuksessa saatiin lopulta vastauksia ja näkökulmia tutkimuskysymyksiin. Näin ollen tutkimuksessa saavutettiin sille asetetut tavoitteet. Tutkimus ei siis anna täydellistä ohjeistusta pitoisuuksien arviointiin, mutta auttaa ymmärtämään Atex-tilan ilmanvaihtoon liittyvät perusasiat ja soveltamaan niitä käytännön kohteissa. Jokaisella Atex-tilalla on omat ominaisuutensa, ja ne tulee huomioida kohteen suunnittelussa.

LÄHTEET

1. KOM. Euroopan yhteisöjen komissio. Komission tiedonanto KOM(2003) 515. Ohjeellinen toimintaopas vähimmäisvaatimuksista räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamalle vaaralle mahdollisesti alttiiksi joutuvien työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden suoje-lun parantamiseksi annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 1999/92/EY täytäntöönpanemiseksi. 2003.
2. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 1999/92/EY. Euroopan yhteisöjen viral-linen lehti, L23. 2000.
3. SFS-EN 60079-10-1. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 10-1: Tilaluokitus. Kaasuräjähdyks-vaaralliset tilat. 2015.
4. Tukes. ATEX-starttipaketti. PDF-dokumentti. 2017. Saatavissa: [https://tukes.fi/do-cuments/5470659/8293726/ATEX-starttipaketti-2017.pdf/b440ed57-218e-4eda-a5b9-42df468e0b5f/ATEX-starttipaketti-2017.pdf](https://tukes.fi/documents/5470659/8293726/ATEX-starttipaketti-2017.pdf/b440ed57-218e-4eda-a5b9-42df468e0b5f/ATEX-starttipaketti-2017.pdf) [viitattu 16.2.2020].
5. TUKES. Räjähdyksivaarallisten tilojen laitteet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat/rajahdysvaarallisten-tilojen-laitteet-atex> [viitattu 29.2. 2020].
6. SFS-EN IEC 60079-0. Räjähdyksivaaralliset tilat. Osa 0: Laitteet. Yleiset vaatimukset. 2019.

HULEVESIVERKOSTON PARANTAMINEN VIIVYTTÄMÄLLÄ KIRJALAN ALUEELLA

Jani Myyryläinen & Anna Forsström

Asiasanat: hulevesi, viemäriverkot, parantaminen, tulvatorjunta, suodatus

OPINNÄYTETYÖN TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA TAUSTAT

Opinnäytetyö tehtiin Mikkelin kaupungin Infra-aluepalveluille, ja sen tarkoituksena oli löytää ratkaisut, joilla hulevesiverkosta voidaan parantaa ensisijaisesti taajamatulvien ehkäisemiseksi. Tutkimuksen kohteena oleva Kirjalan alue Mikkelin kaupungissa on osittain suhteellisen tiiviisti rakennettua asuinpientaloaluetta ja osittain teollisuusaluetta, jolla on runsaasti vettä läpäisemättömiä pintoja. Rakentamisesta johtuvasta vettä läpäisemättömien pintojen lisääntymisestä sekä ilmastonmuutoksen aiheuttamasta sademäärien kasvusta johtuva hulevesien määrän kasvaminen aiheuttaa tutkittavalla alueella taajamatulvia /1, s. 19/, koska tutkimuksen kohteena olevan alueen hulevesiverkosto on suunniteltu ja rakennettu pääosin 1970-luvun alkupuoliskolla. Yleisesti ottaen rankkasateilla tulvivien viemäriverkostojen saneeraaminen vaihtamalla viemäriputket kokoa tai kahta suuremmiksi ei ole taloudellisesti järkevää ja lisäksi se usein vain siirtää ongelman toisaalle sekä lisää mahdollisesti myös viemäriverkoston purkupaikan läheisyydessä rantojen eroosiota /2; 3, s. 7 - 14/.

Alueen hulevedet johdetaan suoraan läheiseen Urpolan lampeen, joka laskee Saimaaseen. Tästä johtuen toisena tavoitteena oli tutkia hulevesiverkostosta pois johdettavien hulevesien laadun parantamista. Hulevedet sisältävät runsaasti epäpuhtauksia, kuten kiintoainetta, raskasmetalleja sekä ravinteita ja näin ollen ne ovat yksi merkittävimmistä vesistöjen veden laatua heikentävistä tekijöistä /3, s. 10/. Hulevesien puhdistaminen niiden purkupaikoilla tai purkupaikkojen läheisyydessä on käytännössä usein mahdotonta johtuen hulevesien suuresta virtaamasta, joten opinnäytetyössä tutkittiin hulevesien puhdistamista niiden syntypaikoilla ennen hulevesiverkoston johtamista.

TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT MENETELMÄT

Työ aloitettiin kyselytutkimuksella, jossa selvitettiin alueen asukkaiden kokemuksia hulevesiverkoston toiminnasta nykyisellään. Lisäksi asukailta kysyttiin, mitä mieltä he ovat mahdollisten hulevesien viivytysjärjestelmien pintarakenteista asuinkatujen varsilla. Kyselyä tehtäessä suoritettiin alustava kirjallisuuskatsaus hulevesien viivyttämiseen, jotta saatiin selvitettyä, minkälaisia viivytysjärjestelmiä alueelle olisi mahdollisesti käytettävissä. Itse kysely suoritettiin nettikyselynä, ja se järjestettiin kesällä, jolloin sen aihe olisi ajankohtaisempi ja vastauksia saataisiin paremmin. Asukkaita tiedotettiin kyselystä lentolehtisillä, jotka jaettiin postilaatikoihin.

Varsinainen tutkimus hulevesiverkoston viivyttamisestä aloitettiin perehtymällä aiheesta löytyvään kirjallisuuteen. Koska aiheesta oli tehty suhteellisen vähän tutkimusta ja niistäkin suurin osa vasta viime vuosina, oli käytännössä lähes kaikki kirjallinen aineisto sähköisessä muodossa. Tärkeimpinä tutkimuksessa käytettyinä kirjallisuuslähteinä erilaisten mitoitusohjeiden ja tutkimusraporttien lisäksi voidaan mainita Kuntaliiton Hulevesiopas /1/, VTT:n CLASS-projektin tutkimusraportit /4/ ja Laura Inhan diplomityö /3/.

Tutkimuksessa alue jaettiin osiin, joille laskettiin mitoitussateen aiheuttama pintavalunnan kertymä. Viivytystarve alueittain selvitettiin vertaamalla hulevesien kertymää tilaajalta saatua tietokonemallinnukseen (kuva 1) hulevesiverkoston maksimivirtaamista mitoitussateella. Tutkimuksessa tarvittavat laskelmat suoritettiin Excel-taulukkolaskentana.

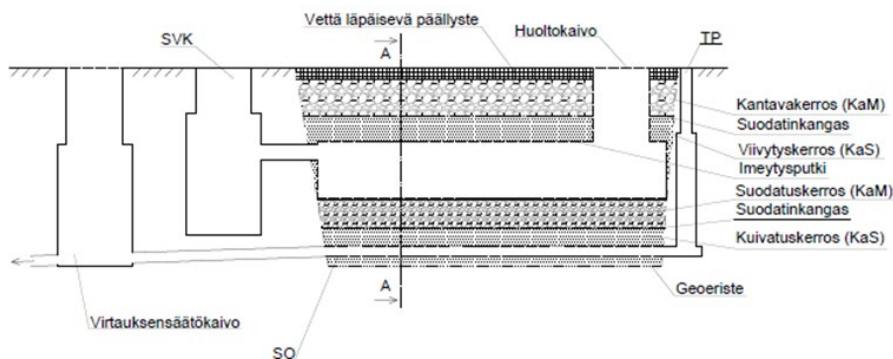


Kuva 1. Ote ArcGIS-mallinnuksesta Nuijamiestenkadulta /5/

Mallinnuksessa on esitetty hulevesitarkastuskaivojen välisien hulevesiviemäriolosuhteiden maksimivirtaamat (l/s). Yksittäisiä asuinkatuja ei ollut pääsääntöisesti mallinnettu. Lisäksi mallinnuksessa oli merkitty punaisilla ympyröillä luonnonmukaisten valuma-alueiden purkupisteinä toimivat kaivot ja vaaleanpunaisilla ympyröillä mitoitussateella tulvivat hulevesikaivot. ArcGIS-mallinnuksessa oli yhdistetty Ramboll Waterin tuottama hulevesiverkostomalli ja Suomen ympäristökeskuksen rajapinnasta haettu pintavaluntakartta. /5./

HULEVESIVERKOSTON PARANTAMISEEN SOVELTUVAT VIIVYTYSJÄRJESTELMÄT

Tutkimuksen tuloksena saatiin kolme erityyppistä viivytysjärjestelmää, joilla voidaan estää taajamatulvien syntyminen alueella. Ensisijaisina järjestelminä toimivat sadepuutarhat ja suodattavat viivytyskaivannot (kuva 2), joihin mahdollisuuksien rajoissa yhdistettiin vettä läpäiseviä päällysteitä.



Kuva 2. Periaatepiirros: viivytyskaivanto vettä läpäisevällä päällysteellä ja suodatusrakenteella (Kuva Jani Myyryläinen)

Tämän tyyppiset viivytysjärjestelmät sisältävät maa- ja kallioaineksista rakennettuja vettä läpäiseviä rakenteita, joten ne toimivat myös huleveden laatua parantavina järjestelminä.

Lisäksi edellisiä täydentävinä järjestelminä voidaan käyttää hulevesiverkoston kriittisiin pisteisiin sijoitettuja viivytysäiliöitä, joilla kasvatetaan tulvimistilanteessa hulevesiverkoston tilavuutta ja joihin varastoituneet hulevedet lasketaan hallitusti takaisin hulevesiverkostoon. Imeyttävien järjestelmien käyttöä rajoittivat suojaetäisyydet rakennuksiin ja alueen sijaitseminen suurimmalta osin Pursialan vedenottamon pohjavesialueella, joka on luokan 1 vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue /1, s. 26–29; 1, s. 136–143; 6, s. 21/. Alueelle soveltuvien viivytysjärjestelmien lisäksi tuloksena saatiin tutkittavan alueen kattava suunnitelma, jonka avulla tutkittiin, onko yleensä mahdollista viivyttää mitoitussateella tulvivaa vesimäärää niiden syntysijoilla.

TUTKIMUKSEN TULOKSIEN POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Johtopäätöksinä kyselytutkimuksen osalta voidaan tehdä, että osalla aluetta hulevesiverkoston toiminta koetaan ongelmallisena. Lisäksi viivytysjärjestelmien pintarakenteiden osalta kyselytutkimuksen perusteella voidaan olettaa asukkaiden pysyvän tyytyväisinä, kun ei tehdä liian suuria muutoksia nykyisten katualueiden reunojen tyyppeihin. Asukaskyselyssä nousi esille, että tiedottaminen alueen asukkaille hulevesiverkoston perusparannushankkeen yhteydessä on myös tärkeää. Lisäksi on myös syytä esitellä asukkaille viivytysjärjestelmien rakenteiden mahdollisia vaikutuksia pohja- ja suotovesiin.

Itse viivytyjärjestelmien osalta voidaan nähdä, että on mahdollista parantaa vanhaa pinnan läheisyyteen rakennettua hulevesiverkostoa niin, että voidaan estää taajamatulvien syntymistä. Näillä järjestelmillä voidaan myös parantaa merkittävästi hulevesien laatua suodattamalla hulevedestä kiintoainesta, koska huomattava osa hulevesien epäpuhtauksista on sitoutunut kiintoainekseen /1, s. 142/. Lisäksi kuvan 3 kaltaiset sadepuutarhat ym. viheralueet toimivat biosuodattamoina, joten niitä käyttämällä saadaan hulevesistä suodatettua myös vesiliukoisia epäpuhtauksia.



Kuva 3. Esimerkkejä sadepuutarhoista /7, s. 20/

Hulevesiverkostoon johdettavan huleveden vähentämiseksi suositeltiin myös uusia rakennuslupia alueelle myönnettäessä velvoite viivyttää hulevesiä jo kiinteistöillä, kuten myös olosuhteiden salliessa imeyttämään kattovedet /1, s. 143/. Lisäksi ehdotettiin lisätutkimuksen tekemistä koko katurakenteen käyttämisestä suodattamiseen ja viivyttämiseen vettä läpäisevien päällysteiden avulla vähän liikennöidyillä kaduilla.

Raportti opinnäytetyöstä on saatavissa osoitteessa <http://urn.fi/URN:NBN:-fi:amk-202003173562>

LÄHTEET

1. Hulevesiopas. Kuntaliitto. PDF-dokumentti. 2012. Saatavissa: <https://www.fsgk.se/hulevesiopas-20121.pdf> [viitattu 20.9.2019]
2. Cederström, A. Suunnitteluinsinööri. Henkilökohtainen tiedonanto 16.4.2019. Mikkelin kaupunki, Infra-aluepalvelut. 2019.
3. Inha, L. Hulevesien hallinta rakennetuilla alueilla. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. PDF-dokumentti. 2010. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/319469552_Hulevesien_hallinta_rakennetuilla_alueilla_Stormwater_Management_in_Built-up_Areas [viitattu 19.9.2020].
4. CLASS - Climate Adaptive Surfaces. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. WWW-dokumentti. 2015. Saatavissa: <https://projectsites.vtt.fi/sites/class/www.vtt.fi/sites/class/en.html> [viitattu 27.9.2020].
5. Cederström, A. Suunnitteluinsinööri. Sähköpostiviesti 22.8.2019. Mikkelin kaupunki. 2019.
6. Mikkelin Pohjavesialueet. Etelä-Savon ELY-keskus. WWW-dokumentti. 2018. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BF9942A14-7981-473C-98DE-EFC999E31044%7D/144359> [viitattu 27.9.2020]
7. Haapalainen, J. & Valtanen, M. Oulun kaupunki, Hulevesien hallinnan suunnitteluohje. Ramboll Finland Oy. PDF-dokumentti. 2019. Saatavissa: https://www.ouka.fi/documents/64248/18592082/Hulevesiohjeet_Oulu_liitteinen_23052019_pieni.pdf [viitattu 27.9.2020].

KAUKOJÄÄHDYTYKSEN TEHOKKAAT TUOTANTO- MENETELMÄT KUOPIOSSA

Petri Turtiainen & Jarmo Tuunanen

Asiasanat: kaukojäähdytys, CHC, opinnäytetyö, jäähdytys, vapaajäähdytys, lumijäähdytys, lämpöpumppu

Kuopion Energia Oy aloitti vuonna 2016 uutena liiketoimintana kaukojäähdytyksen tarjoamisen asiakkailleen Savilahden kaupunginosassa. Kaukojäähdytyksen kysyntä alkoi samalla kasvaa muuallakin kaupungissa. Kasvaneen kysynnän vuoksi Kuopion Energia Oy teetätti opinnäytetyön, jossa tutkittiin kaukojäähdytyksen kannattavuutta ja erilaisia vaihtoehtoja toteuttaa kaukojäähdytystä myös muuallakin Kuopiossa.

Työn tavoitteena oli kartoittaa Kuopion potentiaaliset asiakkaat kaukojäähdytyksen kannalta ja tutkia, millaisilla tekniikalla kaukojäähdytystä voidaan tarjota Kuopiossa eri puolilla kaupunkia. Työssä selvitettiin myös kaukojäähdytyksen valtakunnallista tilannetta ja erilaisia kaukojäähdytyksessä Suomessa käytettäviä teknologioita kirjallisuuden ja haastatteluiden avulla.

Kuopion potentiaalisia alueita kaukojäähdytyksen liiketoiminnan näkökulmasta selvitettiin hyödyntämällä kaavoitustietoja, erilaisia tietokantoja sekä tilastoja. Lisäksi työssä tutkittiin vapaajäähdytyksien hyödynnettävyyttä erilaisilla tekniikoilla, kuten järvivapaajäähdytyksellä ja lumijäähdytyksellä. Työstä rajattiin Savilahden alue pois, sillä siellä kaukojäähdytyksen rakennustyöt olivat jo käynnissä. Lisäksi työstä rajattiin pois asuinrakennukset ja konesalit.

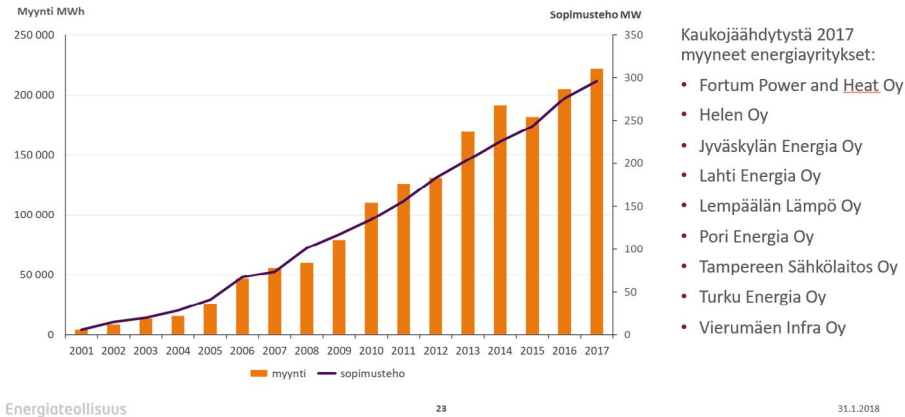
MITÄ ON KAUKOJÄÄHDYTYS?

Kaukojäähdytyksessä jäähdytysenergia tuotetaan alueen rakennuksille pääsääntöisesti keskitetysti kaukokylmälaitoksissa ja jäähdytysenergia toimitetaan asiakkaille kaukojäähdytysverkon avulla. Teknisesti kaukojäähdytys toimii samalla periaatteella kuin kaukolämmitys, lämpimän veden sijasta verkostossa kiertää vain kylmä vesi. Kaukojäähdytyksen etuina pidetään energiatehokasta tuotantoa, vaivattomuutta, ympäristöystävällisyyttä ja rakennuskohtaisten vedenjäähdytyskoneiden puuttumista.

KAUKOJÄÄHDYTYS SUOMESSA

Kaukojäähdytystä on aiemmin ollut tarjolla vain suuremmissa kaupungeissa, kuten Helsingissä, Espoossa, Tampereella, Jyväskylässä, Turussa ja Porissa. Ensimmäisenä kaukojäähdytys alkoi Helsingissä. Kuvassa 1 näkyy kaukojäähdytystä tarjoavat paikkakunnat ja myynnin määrät sekä sopimukset. Kuvasta on havaittavissa kysynnän kasvavan myös tulevaisuudessa melko tasaisesti.

Kaukojäähdytysenergian myynti ja sopimusteho



Kuva 1. Kaukojäähdytyksen kysyntä

KAUKOJÄÄHDYTYKSEN TUOTANTO

Kaukojäähdytyksen tuotannossa voidaan käyttää useita erilaisia kylmäntuotantoteknologioita. Suomessa kaukojäähdytyksen tuotanto perustuu pääasiassa lämpöpumppuihin ja vapaajäähdytykseen. Absorptiojäähdytystä käytetään Suomessa kaukojäähdytyksen tuotannossa vähäisissä määrin. Vapaajäähdytyksessä voidaan käyttää esimerkiksi energiakaivoja tai kylmää järvivettä. Lisäksi työssä tutkittiin lumen hyödynnettävyyttä Kuopiossa kaukojäähdytyksen tuotannossa.

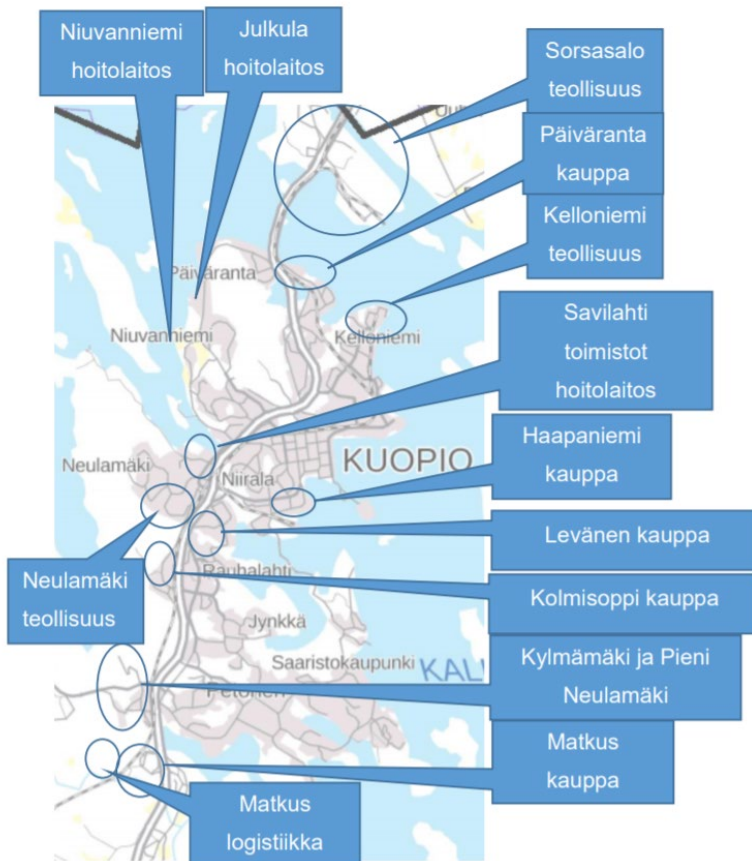
KAUKOJÄÄHDYTYKSEN MAHDOLLISUUDET KUOPIOSSA

Kaukojäähdytyksen mahdollisuuksia tutkittiin eri puolilla Kuopion kaupunkia. Tutkitavien alueiden valintaan vaikutti muun muassa alueiden kaavoitus ja arvio jäähdytyspotentiaalisista asiakkaista. Tutkimukseen valittiin kaupunginosista Itkonniemi, Maljalahti, Kuopionlahti, ydinkeskusta, linja-auto- ja rautatieaseman alue sekä Opistotien kampusalue. Tutkimuksessa selvitettiin kustannuseroja eri kaukojäähdytyksen tuotantomuotojen välillä sekä järven vesistösyvänteiden hyödynnettävyyttä alueellisesti.

Kaukojäähdytyksen kannalta kiinnostavat rakennukset kartoitettiin sekä arvioitiin niiden jäähdytystarve ja paras käytettävissä oleva jäähdytystekniikka. Rakennuksissa keskityttiin keskisuuriin ja suuriin rakennuksiin, joissa on tai voisi olla jäähdytystä.

TYÖN TULOKSET

Jäähdytyksen kysyntä tulee lisääntymään tulevaisuudessa, mikä lisää asiakkaiden kiinnostusta myös ympäristöystävällisiin kaukojäähdytysratkaisuihin. Kaukojäähdytyksen kysyntää lisää ilmastonlämpenemisen lisäksi erilaiset ympäristöohjelmat, jotka kannustavat kiinteistöjen omistajia siirtymään ympäristöystävällisiin energialähteisiin. Jäähdytyksen tarve riippuu paljon rakennusten käyttötarkoituksesta, ja tästä johtuen tehon tarve vaihtelee paljon myös eri kaupunginosissa. Tilastojen perusteella suurimpiin jäähdytyksen käyttäjiin kuuluvat oppilaitokset, sairaalat ja toimistorakennukset. Lisäksi suuria yksittäisiä mahdollisia jäähdytysasiakkaita löytyy eri puolilta kaupunkia. Kiinnostavaksi kohderyhmäksi nousi kaupan rakennukset. Myös keskustassa on tiivis alue keskitetyn jäähdytyksen näkökulmasta. Kuvassa 2 on esitetty alueet, joista löytyy potentiaalisia asiakkaita kaukojäähdytyksen kannalta. Kuvasta selviää asiakkaiden sijaitsevan hyvin hajallaan, mikä suosii kiinteistökohtaisia tai pieniä jäähdytysverkostoja.



Kuva 2. Kaupan keskittymät ja teollisuusalueet

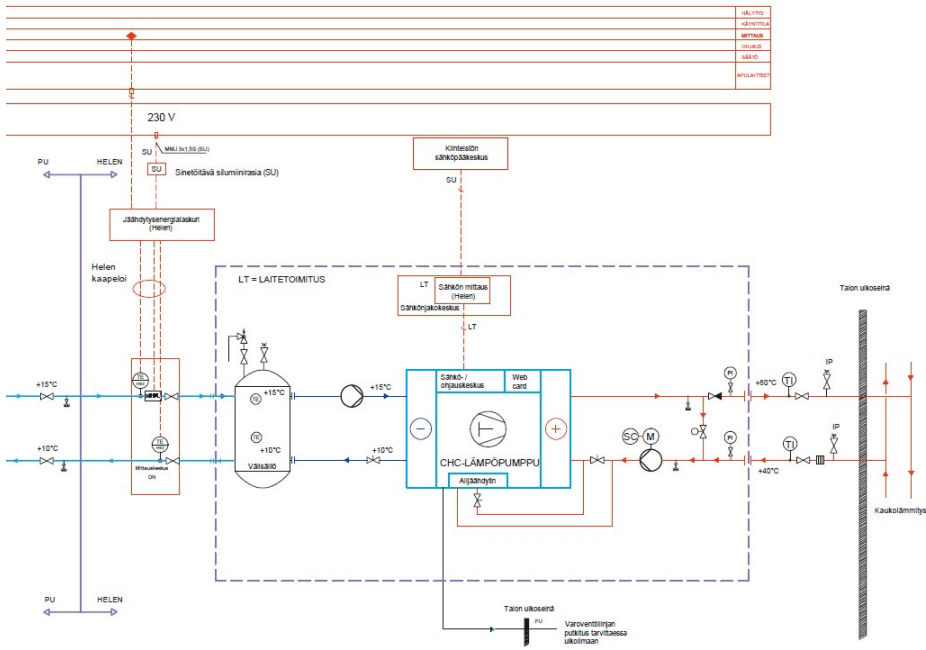
Tutkimus osoitti, että perinteisen kaukojäähdytysverkoston laajeneminen on heikkoa johtuen suurista verkoston rakentamiskustannuksista. Työssä selvisi jäähdytyksen potentiaalia olevan ympäri kaupunkia, mikä osoittaa, että erilaisille jäähdytysratkaisuille on tarvetta. Keskitetyn tuotannon ongelmana ovat suuret investointikustannukset. Kaukojäähdytysverkoston keskimääräiset rakentamiskustannukset ovat noin 1000 - 2000 €/metri. Tämän takia liittymisaste alueelle rakennettavalle verkostolle tulee olla korkea.

Jäähdytysratkaisuista kannattavimmaksi nousi rakennuskohtaiset ja myös aluekohtaiset CHC-lämpöpumput. Jäähdytyksen kannalta kiinnostavia alueita on Kuopiossa keskustan lisäksi Matkuksen liikekeskus- ja logistiikka-alue, jonne rakennetaan paljon uusia rakennuksia lähitulevaisuudessa. Muita merkittäviä kohteita ovat mm. yksittäiset sairaalarakennukset eri puolilla kaupunkia sekä yksittäiset kauppakeskukset Päivärannan, Kolmisopen ja Haapaniemen kaupunginosissa. Teollisuusalueista kiinnostavia ovat Kylmämäen, Pienen Neulamäen ja Sorsasalon teollisuusalueet. Neulamäen ja Kelloniemen teollisuusalueilla on suuria yksittäisiä rakennuksia, mutta nykyinen käyttötarkoitus ei todennäköisesti tule tarvitsemaan jäähdytystä.

CHC-JÄÄHDYTYS

Erityisesti esiin nousi rakennuskohtaisiin lämpöpumppuihin (CHC, Combined heating and cooling) perustuva jäähdytysratkaisu, jossa lauhdutuksessa syntyvä lämpöenergia hyödynnetään kaukolämpöverkostossa. CHC:n etuna on pienehkö tilantarve ja nopea toimitusaika. Alueelliset kaukojäähdytysverkostot nousivat myös mahdollisiksi erityisesti keskustassa. Näiden jäähdytys tapahtuisi todennäköisesti CHC-lämpöpumpulla, mutta alueverkostot olisivat myös liitettävissä Savilahden kaukojäähdytysverkostoon.

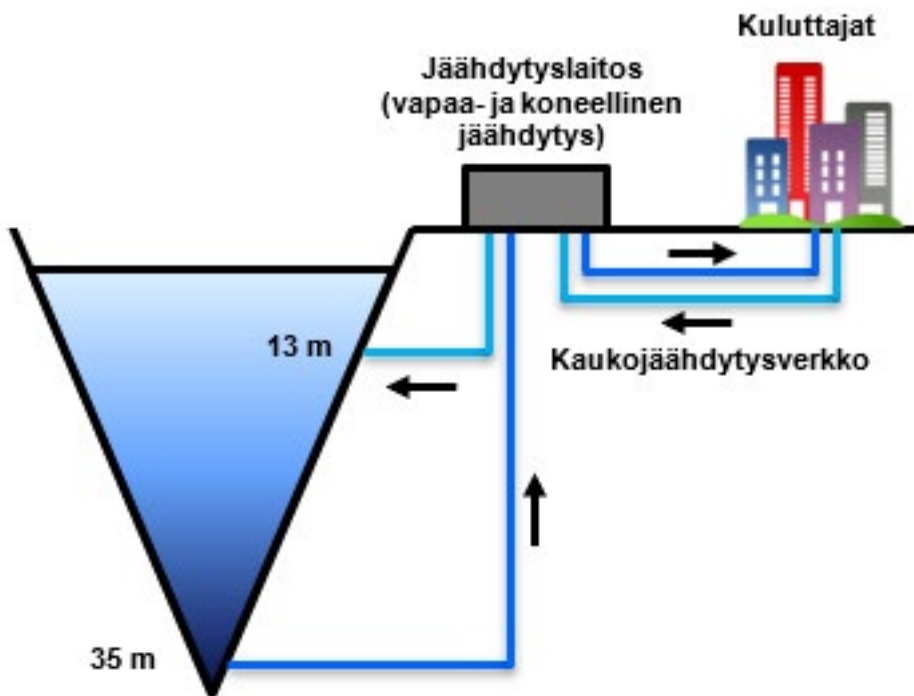
Kuvassa 3 on esitetty CHC-lämpöpumpun periaatteellinen kytkentä kaukolämpöverkostoon. Lämpöpumppu on liitettävissä kaukolämpöverkostoon helposti, mutta suosituksena on kuitenkin rakentaa sille oma liittymä sen sijaan, että käytetään rakennuksen lämmitykseen tarkoitettua kaukolämpöliittymää. CHC:n edellyttämä kaukolämpöliittymä on käytännössä saatavilla lähes kaikkialla Kuopion kaupunkialueella.



Kuva 3. CHC-lämpöpumpun kytkentä kaukolämpöverkkoon

SYVÄNTEET

Kuopiossa Savilahden kaukojäähdytyslaitos hyödyntää Neulalahdessa sijaitsevaa syväntettä. Vaikka kaupunki sijaitsee suurten vesistöjen äärellä, lähellä sijaitsevien syvänteiden hyödynnettävyys on heikkoa johtuen virtauksista ja pitkistä siirtomatkoista. Vapaajäähdytyksen hyödyntäminen vaatii järveen asennettavat vedenotto- ja palautusputkistot sekä siirrinaset, joilla vesistöä kylmää voidaan siirtää kaukojäähdytysverkostoon. Tämän kaltainen järjestelmä on kallis ja vaatii alueelta merkittävää jäähdytystarvetta. Kuvassa 4 on esitetty vapaajäähdytystä hyödyntävän kaukojäähdytyksen periaate.



Kuva 4. Syvänteen käyttö vapaajäähdytyksessä

LUMIJÄÄHDYTYS

Työssä tutkittiin kaupungista kerättävän lumen hyödyntämistä kaukojäähdytyksen tuotannossa. Lumen hyödyntäminen osoittautui kuitenkin hankalaksi toteuttaa johtuen lumijäähdytyslaitteistojen suurista tilantarpeista. Lunta sinänsä on saatavilla paljon, ja sitä on helppo valmistaa keinotekoisesti, mutta lumivaraston sijoittaminen lähelle asiakkaita on käytännössä mahdotonta toteuttaa keskeisellä kaupunkialueella. Järjestelmän etuina on energiatehokkuus ja lumen mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien käsittely ja kierrätys.

POHDINTA

Kaukojäähdytys tulee lisääntymään Kuopiossa tulevaisuudessa. Kaukojäähdytys koetaan helpoksi ja vaivattomaksi tavaksi tuottaa rakennusten tarvitsema jäähdytysenergia. Tulevaisuuden kannalta kaukojäähdytys tulee korvaamaan myös kesäajan lämmitysenergian tuotantoa hukkalämpöjen kautta, jotka voidaan kierrättää lämpöpumpuilla kaukolämmöksi. Kuopiossa kaikki hukkalämmöt voidaan toimittaa kaukolämpöverkoston, mikä tekee järjestelmästä erittäin ympäristöystävällisen. Tästä johtuen tulevaisuudessa lämmöntuotanto tulee todennäköisesti perustumaan enemmän hajautettuihin tuotantoihin, joiden lämmönlähteenä on erilaiset lämpöpumpuilla hyödynnettävät hukkalämmöt jäähdytyksestä. Tämä luo haastetta lämmöntuotannolle, koska jäähdytyksestä syntyvän kaukolämmön määrä vaihtelee melko paljon eri päivinä ja vuosina.

KUVALUETTELO

Kuva 1. Kaukojäähdytyksen kysyntä. Leskelä, J. Energiavuosi 2017. Kaukolämpö. Energiateollisuus ry. 31.1.2018. Powerpoint-dokumentti. Saatavissa: <https://slideplayer.fi/slide/13927305/> [viitattu 31.10.2020].

Kuva 2. Kaupan keskittymät ja teollisuusalueet. 2020. Kuopion karttapalvelu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://karttapalvelu.kuopio.fi/> [viitattu 12.10.2020].

Kuva 3. CHC-lämpöpumpun kytkentä kaukolämpöverkkoon. Oilon Oy.

Kuva 4. Syvänteen käyttö vapaajäähdytyksessä. Rämä, M., Riihimäki, J., Kiuru, P. & Huttula, T. 2017. Neulalahden syvänteen kaukojäähdytysjärjestelmän energiavarastona. VTT & SYKE. Asiakasraportti.

SELVITYS RAVINNEKIER- TOA TUKEVIEN PAIKALLISTEN SANITAATORATKAISUJEN TA- LOTEKNIIKAN JA LOGISTIIKAN VAATIMUKSISTA

Mari Korhonen & Johanna Arola

Asiasanat: erotteleva käymälä, alipaine WC, ravinnerierto, jätemylly, bio-
kaasu

Tutkimuksen lähtökohtana oli pohtia vaihtoehtoja lähestymistapaa käymäläjätevesien ja biojätteiden keräykseen ja käsittelyyn, joissa painotetaan ravinnerikkaiden jättejakeiden syntypaikkaerottelua helpottamaan jättejakeiden jatkokäsittelyä ja hyödyntämistä lannoitteena ja energiana. Opinnäytetyössä vertailtiin erilaisia sanitaatiojärjestelmiä, joihin yhdistettiin biojätteiden jätemyllykeräys. Vertailu järjestelmille toteutettiin talotekniikan, käytännön toimivuuden ja ravinnerierron ja energiahyötykäytön näkökulmasta. Tarkastelun toimintaympäristönä oli kaupunki ja kerrostaloasuminen.

Työn tilaaja oli NutriCity-hanke, joka on ympäristöministeriön rahoittama ravinnerierronhanke. SYKE on tehnyt keväällä 2018 tutkimuksen Tampereen Hiedanrannan alueelle soveltuvien sanitaatoratkaisujen ympäristövaikutuksista (Vilpas & Lehtoranta 2018). Tässä tutkimuksessa oli mukana samat sanitaatiovaihtoehdot kuin hankkeen elinkaariarvioinnissa sekä näiden lisäksi yksi sanitaatiojärjestelmä, joka ei ollut elinkaariarvioinnissa mukana. Biojätteiden jätemyllykeräystä ei myös ollut elinkaariarvioinnissa mukana.

KOTITALOUDEN JÄTEVESIEN JA BIOJÄTTEIDEN KÄSITTELYN NYKYTILA SUOMESSA

Suomessa taajama-alueiden kotitalouksien jätevedet johdetaan perinteisesti viemäriverkon välityksellä jätevedenpuhdistamolle käsiteltäväksi. Puhdistamokäsittelyn jälkeen jätevesilietteet johdetaan usein biokaasulaitokselle, ja niistä tuotetaan biokaasua sekä mädätettä jäännöstä. Mädätettä voidaan käyttää mm. maanparannusaineena tai jatkojalostaa siitä kasvualustoja.

Biojätteitä kerätään ja käsitellään eri puolella Suomea monella tavalla. Keräyksen ja käsittelyn erot johtuvat jäteyhtiöiden ja kuntien erilaisista toimintatavoista. Iso osa biojätteistä päättyy tällä hetkellä sekajätteen mukana polttoon. Osassa kaupungeista biojätteitä kerätään vain isoista biojättekimpoista, kun taas toisissa kunnissa biojätteen erilliskeräyksen piirissä ovat myös haja-asutusalueen kiinteistöt. Omakotitaloissa ja vapaa-ajankiinteistöillä on mahdollisuus myös kompostoida biojätteet, mikäli kunnan jätehuoltomääräykset sen sallivat.

Biojäte käsitellään yleisesti mädättämällä biokaasulaitoksessa tai kompostoimalla. Mädätysjäänös käytetään jälkikompostoinnin jälkeen lannoitevalmisteena tai viherrakentamisessa. Usein biojätteitä käsitellään biokaasulaitoksissa yhdessä lantojen, teollisuuden biohajoavien jätteiden ja jätevedenpuhdistamojen lietteiden kanssa.

BIOJÄTTEIDEN JA JÄTEVESILIETTEIDEN LANNOITEHYÖTYKÄYTTÖ

Ihmisvirtsa, joka on erinomainen lannoite ja kompostoitu käymäläjäte, sekä biojäte ovat loistavia maanparannusaineita. Mikäli jätevesistä ja biojätteestä tuotettua lannoitevalmistetta markkinoidaan tai luovutetaan ulkopuolisten käyttöön, tulee lannoitteen täyttää lannoitevalmistelain (539/2006) vaatimukset. Lannoitevalmistelain mukaan markkinoille voi tuoda ainoastaan sellaisia lannoitevalmisteita, joille löytyy tyyppinimi joko kansallisesta lainsäädännöstä tai EU:n lainsäädännöstä.

Biojätteille ja jätevesilietteille soveltuvia tyyppinimiä löytyy orgaanisista maanparannusaineista (mm. kompostoimalla tai rakeistamalla valmistettu tuote), maanparannusaineena sellaisenaan käytettävistä sivutuotteista (mm. kalkkistabiloitu puhdistamoliete tai hygienisoitu mädätysjäänös) ja seosmullista. Erilliskerätylle virtsalle ei ole olemassa vielä tyyppinimeä. Virtsan käyttöä lannoitteena pyritään edistämään.

BIOJÄTTEIDEN JÄTEMYLLYKERÄYS

Opinnäyteyön yhtenä keskeisenä ajatuksena oli kerätä biojätteet yhdessä käymäläjätevesien kanssa käsittelyyn. Jotta biojätteet voidaan johtaa viemäriin, tulee biojätteet hienontaa jätemyllyllä.

Jätemylljä käytetään biojätteiden keräyksessä ainakin Yhdysvalloissa ja Ruotsin Tukholman (Stamyr ym. 2015, 2) ja Surahammarin alueella (Local Government Association 2012,14). Mikäli biojätteet kerätään jätemyllykeräyksellä, tulisi vastaanottava käsittelylaitos olla mitoitettu myös biojätteiden käsittelyä varten. Suomessa viemäreitä ja jätevedenpuhdistamoja ei ole mitoitettu biojätteiden käsittelyä varten.

Käytännössä jätemyllyjen käytölle ei ole Suomessa lainsäädännöllistä estettä, mutta jätemyllyn käyttö voi vaatia luvan jätehuoltoviranomaiselta poiketa jätehuoltomääräyksistä ja viemärlaitokselta luvan jätemyllyn käytölle. Myös rakennusluvan ehdoissa on vaatimukset vesi- ja viemärisuunnitelmista, jotka tulee hyväksyttävä rakennusvalvonnassa.

JÄRJESTELMÄVERTAILU

Työssä tarkasteltiin neljää erilaista sanitaatiojärjestelmävaihtoehtoa. Taulukossa 1 on esitetty tutkimuksessa vertailut sanitaatiojärjestelmät.

Taulukko 1. Opinnäytetyössä vertailut järjestelmät

Vaihtoehto	Järjestelmä	Malliesimerkki
1 a	Perinteinen vesikäymälä, jossa käymälävesien ja biojätteiden viemärointi toteutetaan yhdessä pesuvesien kanssa.	Ido Seven D 10
1 b	Perinteinen vesikäymälä, jossa käymälävedet ja biojätteet johdetaan erikseen käsittelyyn omalla keräysputkistolla ja harmaat jätevedet käsitellään erikseen.	Ido Seven D 10
2	Alipainekäymälä, jossa käymälävesien ja biojätteiden keräys toteutetaan omalla alipaineputkistolla. Harmaat jätevedet käsitellään erikseen.	Evac Optima 5
3	Erotteleva vähävetinen käymälä, jossa virtsa erotellaan ja johdetaan omalla keräysputkistolla käsittelyyn, ulostejae ja biojäte johdetaan pesuvesien kanssa käsittelyyn.	EcoFlush Urine Diverting Classic WC
4	Erotteleva alipainekäymälä, jossa virtsa johdetaan erilliseen kaatoviemärikeräysputkistoon ja ulostejae yhdessä biojätteiden kanssa alipaineputkistoon. Harmaat vedet käsitellään erikseen.	EcoVac Urine Diverting Vacuum WC

Järjestelmien vertailu toteutettiin oletuksesta, että biojätteet kerätään jätemyllykeräyksellä ja ravinnerikkaat jätevedet johdetaan biokaasulaitokselle käsittelyyn. Sanitaatiovaihtoehtoilta 1–3 on tehty elinkaariarviointi (Vilpas & Lehtoranta 2018), ja neljäs vaihtoehto on opinnäytetyön tekijän oma lisäys sanitaatiojärjestelmien vertailuun. Vaihtoehdossa 1 on tarkasteltu kahta erilaista viemärointitapaa: vaihtoehdossa 1 a kaikille kotitalouksien jätevesille rakennetaan yhteinen keräysputkisto ja vaihtoehdossa 1 b käymälävedet ja biojätteet kerätään omalla erillisellä keräysputkistolla.

JÄRJESTELMÄVERTAILUN TULOKSET

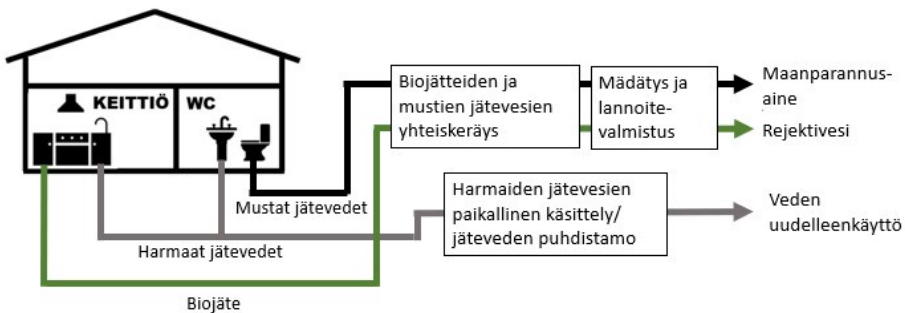
Vertailun perusteella parhaimmat sanitaatiojärjestelmät toimivuuden, ravinnekierroksen ja energiahyötykäytön perusteella olivat perinteinen vesikäymälä ja alipainekäymälä, joiden

jätevedet kerätään yhdessä biojätteiden kanssa, mutta erikseen muista kotitalouksien jätevesistä. Erottelevat vesikäymälämallit osoittautuivat vertailun perusteella toiminnaltaan haastavaksi kerrostaloympäristössä.

Virtsa erotellaan vaihtoehdoissa 3 ja 4. Virtsan erottelevilla käymälöillä ongelmaksi muodostuu erityisesti virtsan ja kalkin yhteisvaikutuksesta syntyvä virtsakivi, joka aiheuttaa tukkeutumia keräysputkistossa (Larsen & Lienert 2007, 25). Keräysputkisto on suunniteltava esteettömäksi ja hyvin puhdistettavaksi. Virtsan erottelevia vesihuuhtelukäymälämalleja on markkinoilla vain vähän saatavilla, ja mallit on suunniteltu lähinnä mökki- ja omakotitalokäyttöön. Vaihtoehdon 3 vähävetinen käymälä on jo lähtökohtaisesti toimimaton valinta kerrostaloympäristöön mallin pienen huuhteluvessimäärän vuoksi. Myös vaihtoehdon 4 alipainekäymälämalli on todennäköisesti huuhtelumäärältään huonosti soveltuva kerrostaloympäristöön. Lisäksi ylimääräinen putkilinja keltaisille jätevesille tuo lisää kustannuksia ja ylimääräinen putkisto vaatii tilaa. Virtsa ei ole vielä mahdollista tuotteistaa ja markkinoida lannoitteena, ja tämä voi hankaloittaa sen lannoitehyötykäyttöä.

Alipainekäymälän vedenkulutus (vaihtoehto 2 ja 4) on huomattavasti pienempi perinteiseen vesihuuhtelukäymälään verrattuna. Alipainekeräyksen etuja ovat myös putkien joustava sijoitus ja pienempi putkikoko. Alipainejärjestelmä on kuitenkin monimutkaisempi toiminnaltaan, ja rakennus- ja huoltokustannukset ovat isommat. Järjestelmä vaatii sähköä toimiakseen, ja toiminta sähkökatkojen aikana on varmistettava.

Koska erottelevat vesikäymälämallit ovat vertailun perusteella huonosti soveltuvia kerrostalokäyttöön, ovat vaihtoehtojen 1 b ja 2 käymäläjätevesien ja biojätteiden yhteiskeräys ja käsittely (kuva 1) parhaat järjestelmävaihtoehdot, kun huomioidaan kokonaisuutena järjestelmän kustannukset, toimivuus, energiantuotanto ja ravinnekierto. Näistä 1 b on kustannuksiltaan halvempi ja toimintavarmuudeltaan parempi järjestelmä, mutta 2 vaihtoehdossa huuhteluvessimäärä on pienempi ja näin ollen myös käsiteltävän lietteen tiivistyksen tarve on pienempi käsitteilylaitoksella.



Kuva 1. Käymälä- ja biojätteiden keräys- ja käsittelykaavio vaihtoehdoissa 1 b ja 2

KÄYMÄLÄJÄTEVESIEN JA BIOJÄTTEIDEN YHTEYSKERÄYKSELLÄ SAAVUTETAAN USEITA HYÖTYJÄ

Alkuperäinen ajatus oli, että erottelevat käymäläratkaisut voisivat olla varteenotettavia vaihtoehtoja myös kerrostalomittakaavassa, mutta tämä ajatus muuttui opinnäytetyön edetessä. Erottelevia vesikäymälämalleja on markkinoilla vain muutamia, ja näiden käyttö kerrostaloympäristössä osoittautui vertailun perusteella haastavaksi.

Työn edetessä korostuivat hyödyt käymäläjätevesien ja biojätteiden yhteiskeräyksestä ja käsittelystä. Mikäli käymälävesille rakennetaan erillinen keräysputkisto, sitä olisi kannattavaa käyttää myös biojätteiden keräykseen. Tällä tavalla saadaan kerättyä käsittelyyn ravinnerikkaat jätevesijakeet, joiden yhteiskeräyksellä saavutetaan useita etuja jätejakeiden käsittelyssä, lannoitehyötykäytössä ja energiantuotannosta.

Käymäläjätevesien erilliskeräyksessä jätevesiä ei ole tarvetta johtaa jätevedenpuhdistamolle, vaan ne voidaan johtaa suoraan biokaasulaitokselle jatkokäsittelyyn. Suurin osa kotitalouden jätevesien puhdistustarpeesta johtuu käymälävesistä. Kotitalousjätevesien kuormituksesta tyypin osalta 90 % aiheutuu käymäläjätevesistä ja fosforista 80 % (Ympäristöopas 2017, 14). Tämän kuormituksen poistuminen jätevedenpuhdistamolta pienentää puhdistamokustannuksia ja helpottaa jätevedenpuhdistusprosesseja.

Biojätteiden osalta lannoitehyötykäytön ja biokaasulaitoskäsittelyn haasteita ovat erityisesti biojätteen esikäsittely ja epäpuhtauksien poisto (Pakarinen & Kymäläinen 2015, 41, 51–53). Jätemyllykeräyksessä biojäte on vapaa epäpuhtauksista, ja esikäsittelyprosessit olisivat huomattavasti yksinkertaisempia biokaasulaitoksella. Jätemyllykeräyksessä biojäte voi olla lähes valmis syöte biokaasuprosessiin.

Käymäläjätevesien keräyksellä erikseen muista yhdyskuntajätevesistä vältettäisiin muiden yhdyskuntajätevesien sisältämät haitta-aineet lannoitetuotteessa, ja lannoitteen markkinointi on mahdollisesti tältä osin helpompaa. Puhdistamolietteet sisältävät kotitalouksien, yhdyskuntien ja teollisuuden jätevesiä. Erityisesti teollisuudesta ja yhdyskunnista voi jätevesilietteisiin tulla haitallisia metalleja ja epäorgaanisia haitta-aineita (Pro Agria 2016, 10–13.). Jätevesilietteiden lannoitehyötykäytön ongelmana onkin ollut erityisesti ennakkoluulot jätevesilietteiden sisältämistä haitta-aineista ja jätevesilietteistä tuotettuja lannoitteita on ollut hankala saada markkinoille (Reku 2018).

Energiatuotannon kannalta biojätteitä ja käymäläjätevesiä voi olla kannattavaa käsitellä yhdessä biokaasulaitoksella. Käymäläjätevedet ja biojätteet hyötyvät mahdollisesti toisistaan metaanintuottopotentialissa, ja näiden yhteiskäsittely tuottaa mahdollisesti myös paremmin biokaasua kuin jakeiden käsittely eri reaktoreissa (Rajagopal ym. 2013).

BIOJÄTTEIDEN JA KÄYMÄLÄJÄTEVESIEN YHTEISKERÄYSMALLIN JATKOKEHITYSKOHEET

Mikäli käymälä- ja biojätteet kerättäisiin ja käsiteltäisiin yhdessä, on käsittelyssä ja keräyksessä tekijöitä, joiden toimivuus on varmistettava. Näitä tekijöitä ovat esimerkiksi paljon kiintoainetta sisältävien jätevesien kulkeutuminen viemärissä, jätemyllyn käytännön toimivuus ja käsittelylaitoksen toimintaan/suunnitteluun vaikuttavat tekijät (mm. käsiteltävän jakeiden kiintoainepitoisuus, metaanintuottopotentiaali, ravinnerikkaiden rejektivesien käsittely ja tuotteistaminen lannoitteeksi). Esitetyn keräysmallin kehityskohteiden pohdinta ei sisältynyt varsinaiseen opinnäytetyöhön, mutta mikäli opinnäytetyössä vertailun perusteella ehdotettua keräystapaa toteutetaan käytännössä, nämä toiminnan kannalta oleelliset tekijät olisi hyvä selvittää.

Biojätteiden ja käymäläjätevesien yhteiskeräyksessä jäteveden kiintoainepitoisuus on huomattavasti suurempi kuin perinteisissä kotitalouksien jätevesissä. Enemmän kiintoainesta sisältävien jätevesien kulkeutuminen keräysputkistossa on varmistettava erityisesti, jos jätevesiä johdetaan painovoimaisella viemärillä. Alipaineviemärijärjestelmä onkin varteentotettava vaihtoehto biojäte- ja käymäläjätevesien johtamiseen käsittelylaitokselle. Suomessa ei ole tiettävästi käytössä kokooja- ja runkoviemäreinä alipainetoimisia järjestelmiä, mutta ulkomailla näitä on rakennettu. Alipainejärjestelmän käytännön toimivuus talviolosuhteissa olisikin tärkeää selvittää.

Biojäte-käymäläjätevesiseoksen kiintoainepitoisuus on oleellinen tekijä niin biokaasulaitoksen kuin viemäroinnin suunnittelussa. Kiintoainepitoisuus olisikin kannattavaa selvittää käytännön kokeilla.

Virtsan erottaminen olisi todennäköisesti hyödyllistä biokaasulaitoksen toiminnan kannalta. Virtsa sisältää vain vähän hajoavaa orgaanista ainesta, paljon vettä ja runsaasti ravinteita, fosforia ja typpeä. Liian tyypipitoiset syötteet voivat aiheuttaa metaanintuottoprosessin inhiboitumista (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 26). Riippuen käytettävästä biokaasuprosessista voi prosessissa olla tarvetta lietteen tiivistykselle, ja tässä syntyy ravinnerikkaita rejektivesiä. Ravinnerikkaiden rejektivesien käsittely ja lannoitetuotteistaminen ovatkin mahdollisesti yksi esitetyn yhteiskeräysmallin haasteista ja kehityskohteista. Mikäli tiivistykselle on tarve biokaasuprosessissa, osa virtsasta erottuu myös rejektivesien mukana. Prosessista riippuen lietteen tiivistystä voi tapahtua jo ennen syöttöä biokaasureaktoriin, ja näin vähennetään biokaasuprosessista samalla myös inhihoivaa typpikuormitusta. Pohdittavaksi jää, olisiko myös kokonaisuutena kannattavampaa erottaa virtsaa sisältäviä ravinnerikkaita rejektivesiä biokaasulaitoksella lannoitetuotantoon virtsan syntypaikkaerottelun sijasta.

LÄHTEET

Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. 2015. Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeen ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk_biokaasun_tuotanto_2015_ekirja [viitattu 25.4.2020].

Lannoitevalmistelaki 29.6.2006/539.

Larsen, T. A. & Lienert, J. 2007. Novaquatis final report. NoMix – A new approach to urban water management. Eawag, Switzerland

Local Government Association. 2012. The potential of Wood Waste disposal units to reduce costs. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.local.gov.uk/sites/default/files/documents/potential-food-waste-disp-077.pdf> [viitattu 6.10.2019].

Pro Agria. 2016. Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa. Vesilaitosyhdistys. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/puhdistamolietteen_kevat_2016s.pdf [viitattu 13.10.2019].

Rajagopal, R., WeiLim, J., YuMao, Chen, C. & Wang, J. 2013. Anaerobic co-digestion of source segregated brown water (feces-without-urine) and food waste: For Singapore context. Science of the total Environment 443 (2013), 877–886.

Reku, J. 2018. Varmista ennen kuin lannoitat: Viljelysopimus voi kieltää puhdistamolietteen käytön lannoitteena. Verkko-lehti. Maaseudun tulevaisuus 7.5.2018. Saatavissa: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/artikkeli-1.234171> [viitattu 25.2.2020]

Stamyr, K., Larsson, P., Croyzyand, S. & van Calcar, C. 2015. Handling food waste in Stockholm. Group 7 Elinkaariarviointi.

Vilpas, R. & Lehtoranta, S. 2018. Hiedanranta-LCA. Vaihtoehtoisten sanitaatio- ja viemäröintiratkaisujen ympäristövaikutusten ja kustannusten arviointi. PowerPoint-esitys.

Ympäristöopas. 2017. Haja-asutuksen jätevedet. Lainsäädäntö ja käytännöt. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80090/YO_2017_Haja_asutuksen_jatevedet_Final.pdf?sequence=3&isAllowed=y [viitattu 20.3.2020].

MÄRKÄTILOJEN LÄMMITYS- JÄRJESTELMIEN VERTAILU

Lasse Miettinen & Jarmo Tuunanen

Asiasanat: märkätila, lattialämmitys, elinkaarikustannukset, energiankulutus, energiatehokkuus

Lattialämmitys on yleistynyt märkätilojen lämmitysjärjestelmänä, ja osaltaan tähän on vaikuttanut vuoden 2018 alusta voimaan tullut asetus 1047/2017, joka kieltää vesikiertoisten lämmittimien kytkemisen lämpimän käyttöveden kiertojohtoon uusissa rakennuksissa. Insinööri-toimisto Mittatyö Timo Holopainen Ky:n teettämässä opinnäytetyössä vertailtiin märkätilojen sähköisen ja vesikiertoisen lattialämmityksen elinkaarikustannuksia ja energiatehokkuutta. Tutkimuskohteena oli kaukolämpöverkkoon liitetty uusi asuinkerrostalo. Elinkaarikustannuksissa huomioitiin lämmitysjärjestelmän hankinnasta ja asentamisesta aiheutuvat investointikulut sekä energiamaksuista koostuvat käyttökustannukset. Käyttökustannusten selvittämiseksi työssä laskettiin märkätilojen lattialämmitysjärjestelmän vuotuinen ostoenergiankulutus ja tarkasteltiin lisäksi lattian lämpötila-asetuksen vaikutusta energiankulutukseen. Sähköisen ja vesikiertoisen lattialämmityksen energiatehokkuutta vertailtiin keskenään tutkimalla kummankin lämmitysjärjestelmävaihtoehdon vaikutusta rakennuksen E-lukuun.

TUTKIMUSKOHDE JA MÄRKÄTILOJEN LÄMMITYSSUUNNITTELU

Tarkasteltavana kohteena oli 10-kerroksinen asuinkerrostalo, jossa on 40 asuntoa. Talossa on keskitetty tulo-poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla ja asuinhuoneissa vesikiertoinen patterilämmitys. Märkätiloiksi työssä rajattiin asuinhuoneistojen saunat ja pesuhuoneet, niiden pinta-ala oli yhteensä 301 m². Kohteeseen laadittiin vaihtoehtoiset märkätilojen lattialämmityssuunnitelmat, toinen sähköllä ja toinen vesikiertoisena toteutettuna. Vesikiertoinen lattialämmitys suunniteltiin erillisellä, vain märkätiloja palvelevalla kaukolämpönsiirtimellä ja kiertoputkistolla, jotta märkätilojen lämmitys toimii asuinhuoneiden lämmitysjärjestelmästä riippumattomasti. Suunnitelmat laadittiin Energiateollisuus ry:n ohjeen (Kosteiden tilojen... 2016) ja LVI-ohjekortin 13-10261 (1996) mukaisesti. Lattialämmityksen säätötavaksi valittiin huoneistokohtaiset termostaatit lattia-anturilla.

MÄRKÄTILOJEN LATTIALÄMMITYKSEN MITOITUS

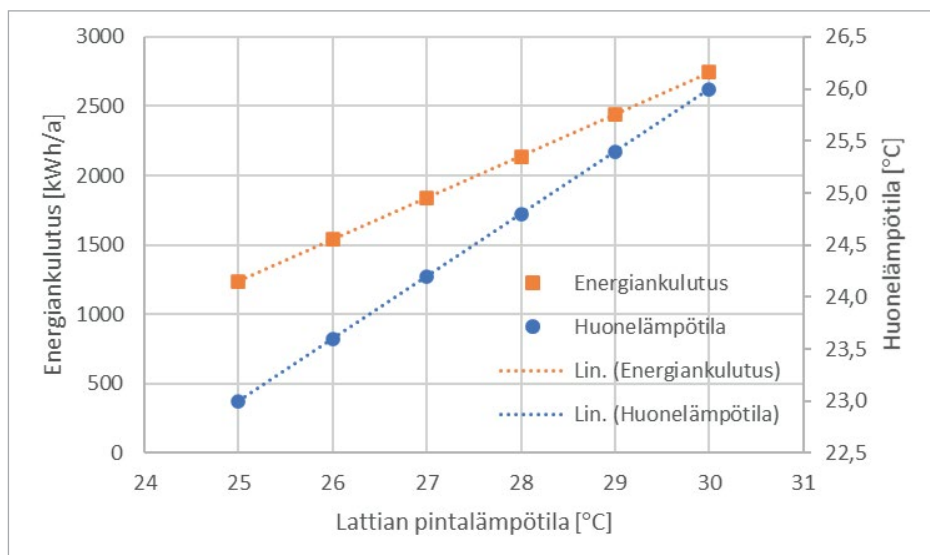
Lämpöhäviöiden perusteella lasketut märkätilojen lämmitystehontarpeet vaihtelivat tutkimuskohteessa välillä 11–32 W/m² eli olivat suhteellisen pieniä, mikä on tyyppillistä raken-

nuksen sisäosissa sijaitseville tiloille. Pieni lattialämmityksen teho olisi johtanut mukavuuden kannalta liian mataliin lattian pintalämpötiloihin 23–25 °C, sillä märkätiloissa suositus on vähintään 25 °C (Kosteiden tilojen... 2016, 8–9). Märkätilojen lattialämmitys mitoitettiin lattiain pintalämpötilan perusteella (SFS-EN 15377-1: 2008, 15), ja mitoitustehoksi valittiin 27 °C. Tämä johti mitoitustehoon 52 W/m² eli noin 400 W:n lämmitystehoon yhden asunnon märkätiloja kohti.

LATTIALÄMMITYKSEN ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTA

Märkätilojen lattialämmitysjärjestelmän vuotuinen energiankulutus arvioitiin laskennallisesti Ympäristöministeriön asetusta 1010/2017 ja siihen liittyvää ohjetta (Energiatehokkuus 2018) soveltaen. Kyseessä on kuukausitason laskentamenetelmä, joka huomioi johtumislämpöhäviöt, vuotoilman lämmittämisen sekä tulo- ja siirtoilman lämmittämisen tarpeen. Lisäksi opinnäytetyössä laskentaa kehitettiin niin, että lattian pintalämpötilan vaikutus energiankulutukseen pystyttiin mallintamaan. Ratkaisuun päästiin lämpöhäviöiden ja lattialämmitystehon välisen tehotasetarkastelun avulla, jossa märkätilan huonelämpötila ja lattialämmityksen teho ratkaistiin yhtälöistä iteroimalla taulukkolaskentaohjelman avulla.

Tutkimuskohteena olleen asuinkerrostalon märkätilojen energiankulutus laskettiin sillä oletuksella, että märkätilojen lattian pintalämpötila pidetään vakiona läpi vuoden. Asuinhuoneiden lämpötilaksi oletettiin 21 °C ja tuloilman sisäänpuhalluslämpötilaksi 18 °C. Kuvasta 1 nähdään, kuinka suuri vaikutus lattian pintalämpötilalla on märkätilan huonelämpötilaan ja lattialämmityksen energiankulutukseen.



Kuva 1. Lattialämmityksen energiankulutuksen ja märkätilan huonelämpötilan laskennallinen riippuvuus lattian pintalämpötilasta tutkimuskohteen eräässä huoneistossa

Tutkittavan asuinkerrostalon märkätilojen lattialämmityksen nettoenergiankulutus vaihteli huoneistoittain. Laskelmat tehtiin lattian mitoituspintalämpötilalla 27 °C, ja vuotuisen nettoenergiankulutuksen keskiarvoksi saatiin 2,1 MWh/a huoneistoa kohti.

MÄRKÄTILOJEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN OSTOENERGIAN KULUTUS

Sähköisen ja vesikiertoisen lattialämmitysjärjestelmän kuluttaman ostoenergian eli sähkön ja kaukolämmön vuosikulutukset saatiin edellä lasketusta nettoenergiankulutuksesta huomioimalla lämmitysjärjestelmien lämmönjaon ja -tuoton hyötysuhteet sekä apulaitteiden sähkönkulutukset. Sähköä tai kaukolämpöä lämmitykseen tarvitaan noin 2,5 MWh/a huoneistoa kohden, kun lattian pintalämpötila on 27 °C. Koko asuinkerrostalon ostoenergian vuosikulutukset on koottu taulukkoon 1.

Taulukko 1. Tarkastellun asuinkerrostalon märkätilojen lattialämmitysjärjestelmän laskennallinen ostoenergiankulutus, kun märkätilojen lattioiden pintalämpötila oli 27 °C

	Kaukolämpö [kWh/a]	Sähkö [kWh/a]
Vesikiertoinen lattialämmitys	102 900	800
Sähköinen lattialämmitys	0	100 000

Vertailun vuoksi märkätilojen lattialämmityksen ostoenergiankulutus laskettiin myös siinä tapauksessa, että märkätilojen huonelämpötila pidetään 22 °C:ssa. Tällöin energiankulutus oli 45 % pienempi verrattuna siihen, että märkätilojen lattioiden pinta-lämpötila pidetään vakiona 27 °C:ssa.

KÄYTTÖKUSTANNUSTEN LASKENTA JA INVESTOINTIKUSTANNUKSET

Laskennallisen ostoenergiankulutuksen ja energian hintatietojen perusteella kummallekin lämmitysjärjestelmävaihtoehdolle laskettiin vuosittaiset käyttökustannukset. Sähkön hintana käytettiin Energian hinnat 2020 -tilastosta saatua arvoa 220 €/MWh (Tilastokeskus 2020) ja kaukolämmön hintana kaukolämmön hintatilaston keskiarvoa 82 €/MWh (Energiateollisuus ry 2020). Lämmitysjärjestelmien investointikustannukset selvitettiin LVIS-urakoitsijan avulla normaalia urakkalaskentamenettelyä käyttäen, jotta hintatiedot olisivat mahdollisimman realistiset. Investointikustannuksiin sisältyivät tarvikkeet, työt, urakoitsijan kate sekä arvonlisävero.

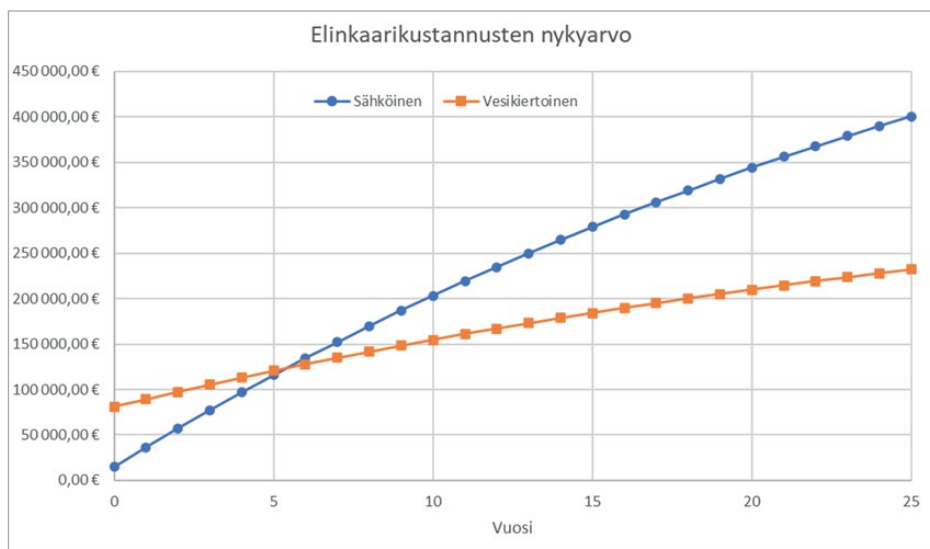
Taulukkoon 2 kootuista tuloksista nähdään, että energiakustannukset vesikiertoisella lattialämmityksellä ovat 39 % sähköisen lattialämmityksen energiakuluista. Toisaalta vesikiertoisen lattialämmityksen investointikustannus on 5,4-kertainen sähköiseen lattialämmitykseen verrattuna.

Taulukko 2. Märkätilojen lämmitysjärjestelmävaihtoehtojen kustannukset tutkimuskohteessa

Lämmitysjärjestelmä	Investointikustannus [€]	Energiakustannukset [€/a]
Vesikiertoinen lattialämmitys	81 000	8 600
Sähköinen lattialämmitys	15 000	22 000

ELINKAARIKUSTANNUKSET

Lämmitysjärjestelmien pidemmän aikavälin kustannusten vertailemiseksi laskettiin kummallekin vaihtoehdolle elinkaarikustannukset nykyarvomenetelmällä (Sirén 2015) 25 vuoden tarkasteluajanjaksolla. Elinkaarikustannukset sisälsivät investointi- ja käyttökustannukset, ja laskennassa huomioitiin myös korko sekä eskalaatio eli energian hinnan nousu. Tuloksista (kuva 2) määritettiin vesikiertoisen lattialämmityksen takaisinmaksuaika sähköiseen lattialämmitykseen verrattuna. Lopuksi tehtiin herkkyystarkastelu eli selvitetiin, miten takaisinmaksuaika muuttuu, jos korkoa ja eskalaatiota muutetaan. Lopputulos oli, että vesikiertoisen lattialämmityksen takaisinmaksuaika on 5–6 vuotta ja 25 vuoden laskentajakson aikana säästöä sähköiseen lattialämmitykseen verrattuna kertyy alkuperäistä investointikustannusta suurempi summa.



Kuva 2. Märkätilojen lattialämmitysjärjestelmien elinkaarikustannusten kertyminen tutkimuskohteessa, kun korko on 5 % ja eskalaatio 2 %

MÄRKÄTILOJEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN VAIKUTUS E-LUKUUN

Märkätilojen lattialämmitysjärjestelmän ostoenergiankulutus oli lähes yhtä suuri sekä sähköisellä että vesikiertoisella vaihtoehdolla toteutettuna, joten suurin vaikutus E-lukuun on energiamuotojen kertoimilla. Sähkön energiamuodon kerroin on 1,2 ja kaukolämmön 0,5 (788/2017 1 §). Näin ollen vesikiertoinen lattialämmitys on myös energiatehokkuuden kannalta sähköistä lattialämmitystä edullisempi vaihtoehto.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Märkätilojen lämmitysjärjestelmän valinnassa on syytä huomioida elinkaarikustannukset, eikä tehdä valintaa pelkkien investointikustannusten perusteella. Suurin osa elinkaarikustannuksista kertyy käyttökuluista eli energiamaksuista. Tutkimuskohteena olleessa asuinkerrostalossa vesikiertoisen lattialämmityksen takaisinmaksuaika sähköiseen lattialämmitykseen verrattuna oli vain 5–6 vuotta. Myös energiatehokkuuden näkökulmasta vesikiertoinen lämmitys oli edullisempi vaihtoehto.

Laskelmien perusteella lattian lämpötila eli käytännössä termostaatin asetuservo vaikuttaa paljon lattialämmityksen energiankulutukseen. Valittu lattian pintalämpötila 27 °C johti tutkimuskohteessa märkätilojen laskennallisiin huonelämpötiloihin 23–24 °C, mikä on varsin tavanomainen lämpötilataso todellisuudessa. Energiankulutusta voidaan pienentää kymmeniä prosentteja alentamalla lattian pintalämpötilaa parilla asteella tai rajoittamalla märkätilojen huonelämpötila 22 °C:een, joka on yleisesti käytetty suunnitteluarvo.

LÄHTEET

Energiatehokkuus. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2018. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7B4332AA81-75E1-4CA0-B208-B0ACB60A267F%7D/133692> [viitattu 30.8.2019].

Energiateollisuus ry. 2020. Kaukolämmön hintatilasto. Excel-taulukko. Saatavissa: https://energia.fi/files/4551/KL_hintataulukko_01012020_paivitetty_30032020.xlsx [viitattu 22.7.2020].

Kosteiden tilojen vesikiertoisen lattialämmityksen suunnittelu kaukolämmitetyssä rakennuksessa - malleja ja hyviä käytäntöjä. 2016. Energiateollisuus ry. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kosteiden_tilojen_vesikiertoisen_lattialammityksen_suunnittelu_kaukolammitetyssa_rakennuksessa_malleja_ja_hyvia_kaytantoja.html [viitattu 30.8.2019].

LVI 13-10261. 1996. Vesikiertoinen lattialämmitys. LVI-ohjekortti. Rakennustietosäätiö.

SFS-EN 15377-1. 2008. Rakennusten lämmitysjärjestelmät. Rakenteisiin asennettavien vesikiertoisten lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien suunnittelu. Osa 1: Lämmitys- ja jäähdytystehon suunnitteluarvojen määrittäminen.

Sirén, K. 2015. Rakennusten energiainvestointien kannattavuuden laskenta. Aalto yliopisto. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/153118/mod_resource/content/1/Rakennusten%20energiainvestointien%20kannattavuus_2015_highlighted.pdf [viitattu 31.8.2019].

Tilastokeskus. 2020. Energian hinnat, 1. vuosineljännes 2020. Liitekuvio 5. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehi/2020/01/ehi_2020_01_2020-06-11_kuv_005_fi.html [viitattu 22.7.2020].

Valtioneuvoston asetus rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista 788/2017. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/sk20170788.pdf> [viitattu 26.1.2020].

Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista 1047/2017. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.edilex.fi/saaduskokoelma/20171047.pdf> [viitattu 23.11.2019].

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/sk20171010.pdf> [viitattu 30.8.2019].

BIOMATERIAALINEN PORATULPPA

Jukka Koikkalainen & Ritva Käyhkö

Asiasanat: Biohajoava, biomateriaali, tuotekehitys, poratulppa

Poratulppa on yksinkertainen tuote louhinta- ja poraustöissä, jolla kuitenkin on merkitystä reiän jatkokäytössä ja sen ominaisuuksien säilymisessä. Päätehtävänä poratulpalle voidaan pitää reiän suojaamista ja merkitsemisestä. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää poratulpasta hivenen nykypäiväisempi ja luonnon ja ympäristön arvot huomioon ottavampi tuote.

Kiveä on pyritty muokkaamaan ihmisen koko evoluution ajan moniin eri käyttötarkoituksiin. Kiveä on käytetty työkalu-, ase- ja rakennusmateriaalina, siitä on haluttu saada raaka-ainetta esim. metallurgian tarpeisiin tai sitten se on vain ollut jonkun tiellä ja se on pitänyt poistaa edestä.

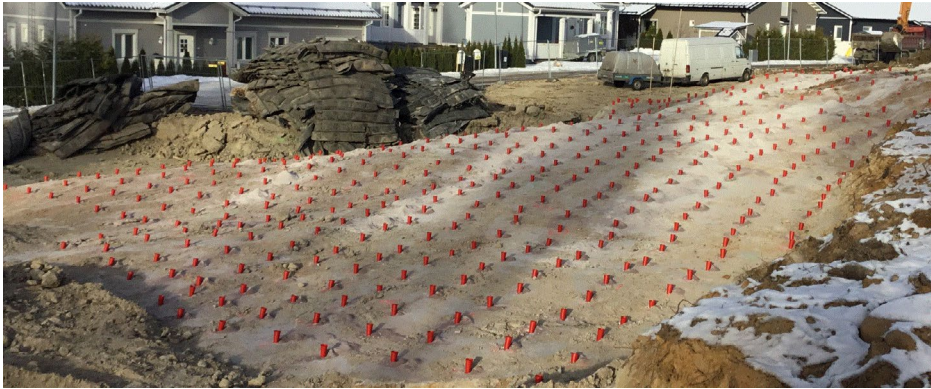
Mustan ruudin aikaan 1620-luvulla poratuissa rei'issä käytettiin puutappeja ja kangaspaloja sekä myöhemmällä aikakaudella paperituppoja. Mustaruuti oli erittäin arkaa vedelle ja kosteudelle, joten reikä oli pidettävä erittäin kuivana. Muuten ruuti ei syttynyt reiän pohjalla, ja haluttu vaikutus jäi saavuttamatta kiven halkaisussa. 1860-luvulla dynamiitti korvasi ruudin louhinnassa eikä vesi ollut niin suuri este, joten monesti reikiin tehtiin tarvittaessa puutappeja. Havutuppoja, öljyisiä rättejä tai villaa käytettiin suojaamaan reiän suut. (ECE PDH Courses 2020.)

Muovi on poratulpissa usein käytetty materiaali. Monet louhintavarusteiden valmistajat valmistavat tai valmistuttavat oman mallinsa mukaisia muovisia poratulppia, joita kauppaavat asiakkailleen. Tunnetuimpia valmistajia ovat kotimainen Okarplastin ja ulkomailta Atlas Copco, CRD Greghton sekä FSB Australia. Jokaisella toimittajalla on perusajatukseltaan samankaltaisia tuotteita, mutta yleensä tuotemallistoon mahtuu myös omia innovaatioita, esimerkiksi nallin langanohjaimia.

MUOVIN HAITAT

Yleensä näiden muovisten tulppien käyttöikä on useita käyttökertoja, mutta sääolot, työmaaolosuhteet ja niihin kohdistuva rasitus sekä kolhut rikkovat niitä. Usein ne tai niiden

palaset jäävät louheen ja maa-aineksen sekaan ja kulkeutuvat sieltä murskeiden, maa-aineesiin ja vesistöihin isompina paloina ja mikromuoveina. Vesistöihin ja maaperään levinnyt mikromuovi on ympäristölle haitallista (Katajajuuri 2018). Kuvassa 1 on esimerkki valmiista räjähdekentästä.



Kuva 1. Valmista kenttää, jossa Okarplast 33 -muovitulppa. Uudistie Espoo 2017 (Koikkalainen 2020a)

Suurin osa valmistajista käyttää tuotteisiinsa suuritiheyspolyeteeniä (PE-HD), joka on tiheydeltään 0,95–0,98 kg/dm³. Ominaisuuksiltaan se on kovaa ja kestävä, mutta samalla joustavaa sekä antaa hyvän pakkasenkeston. (FSP Australia 2019.)

PORATULPAN KOKO JA VAATIMUKSET

Tavoitteena oli saada kattava valikoima kolmesta eri koosta reikäkoon mukaan. Pienet reiät 30–45 mm, jolloin tulpan koko on 36 mm–60 mm ja pituus 250 mm. Keskikoko 54–78 mm, jolloin tulpan koko on 40 mm–85 mm ja pituus 300 mm. Suuri koko 89–127 mm, jolloin tulpan koko on 80 mm–145 mm ja pituus 420 mm. Poratulpan malleja ja prototyyppisiä on esitetty kuvassa 2.

Kartongilta ja kierrätyspahvilta vaaditaan riittävää sitkeyttä ja lujuutta. Ominaisuudet todennettiin käytännön kokeella. Kartongille vaadittavat ominaisuudet ovat:

- veden kesto, eli ei saa läpäistä vettä
- elastinen kesto, ei murru kohdistuvan painon alla eikä repeä vaan ennemmin rutistuu rasituksessa
- materiaali hajoo ajastaan maatumalla maan sekaan jouduttuaan eikä siitä jää haitallisia aineita maahan.



Kuva 2. Poratulppia ja prototyyppejä (Koikkalainen 2020b)

KARTONKINEN EKOTULPPA

Kartonkisen tai uudelleen käytetyn pahvisen poratulpan kehityksen ideana oli kehittää käytössä olevasta muovisesta poratulpasta versio, joka maahan jouduttuaan pystyy kadottuaan tai hajottuaan maatumaan maan sekaan sen sijaan, että se muovina jäisi luontoon rasitteeksi maatumattomana ja lähtisi kiertoon aikanaan mikromuovina.

Projektissa lähtökohtana oli kartoittaa materiaali ja valmistusmenetelmä, joka parhaiten soveltuisi käyttötarkoitusta varten. Cucka Oy valmistaa biokartongista kartonkimukeja, jotka kasataan liimatta lämpökäsittelyä hyväksikäyttäen (kuva 3). Tässä ratkaisussa poratuppien määrä rajoittaa toimintaa, eli tilattava määrä täytyisi olla todella suuri, jotta valmistus olisi kannattavaa. Pienempinä murheina olivat muottikustannukset noin 1600 €/kpl tilattavan erän minimikoon ollessa 100 000 kappaletta, ja tässä tuotteessa taloudellisesti kannattavan valmistuksen määränä noin 500 000 kappaletta.



Kuva 3. Biohajoavia Cucka Oy:n mukeja (Gröönroos 2020)

Toisena vaihtoehtona projektiin suunniteltiin itsetehty poratulppa. Käytetyistä räjähdysainelaatikoista saatavan aaltopahvin hyödyntämiseksi ideoitiin omavalmisteinen poratulppa. Valmistusprosessi muodostuisi siistauksesta, kuitumassan valamisesta, lämpökuivauksesta ja luonnollisella pinnoituksella. Tässä vaihtoehdossa olisi mahdollista hyödyntää räjähteiden kuljetuslaatikoita, jotka nykyisin poltetaan kasoissa, ammutaan kentän mukana tai leikataan räjähdemerkit pois ja viedään pahvin keräyspisteeseen. Tässä työläin osuus on muotin oikeanlainen valmistaminen ja elastisen kosteuspinnoitteen etsiminen.

VAAHTOSIESTAUS

Vaahtsiistauksessa pahvisilpun kuituja pehmennetään ja saadaan poistettua pahvimassasta musteita ja muita ei-toivottuja ainesosia. Siistausta noin tuntia ennen lisätään siistattavaan massaan tarvittavat kemikaalit ja annetaan aineiden olla vaikutuksissaan toisiinsa noin 1–2 tuntia. Tämän jälkeen aineet laitetaan vaahdotuskennoon, lisätään sekaan kalsiumkloridi ja annetaan vaikuttaa noin 5 minuuttia ennen laitteen käynnistämistä. Aloitetaan vaahtsiistaus, ja kaavitaan pintaan nousevat massan epäpuhtaudet pinnasta rejektiokaukaloon. Massaa käytetään vaahtsiistauksessa noin 30 minuutin ajan.

TYÖVAIHEET

Jauhatus Siistauksen jälkeen pahvimassa jauhatetaan kuiduiksi, jotta kuidut saadaan taas erilleen ja massa tasaiseksi kuitumassaksi. Jauhatuksessa massaa ajetaan jauhimen radassa virtauksen mukana, ja jauhimen painolla saadaan sopiva vastapaine kuidutus terää vasten. Kuitumassalla kestää noin 30 minuuttia / 20 litraa kohden ajo hienoksi radalla.

Muotitus Valmis pahvikuitumassa puristetaan metalliseen sapluunaan, joka on muokattu kierrätyspahvi poratulpan muotoiseksi. Ulkokuoreltaan sileä ja ehjä muotinkappale kiinnitetään rei'itettyyn sisäkappaleeseen, joista suurin osa massan vedestä poistuu massan paineen voimasta.

Suojaaminen Raakapinnalla oleva poratulppa on vielä arka kosteudelle ja epäpuhtauksille, joten sen ulko- ja sisäpinta tarvitsevat suojaavan kerroksen luonnonmukaista suojaainetta. Tähän käyttöön voisi soveltua mehiläisvaha, joka suihkutetaan sisä- ja ulkopinnalle antamaan suojaa poratulpalle likaa, kosteutta ja mekaanista rasitusta vastaan. Mehiläisvahan kuivumisen jälkeen poratulpat voidaan pakata kuljetuslaatikoihin käyttöä odottamaan.

VERTAILU VALMISTETTAVIEN TUOTTEIDEN VÄLILLÄ

Näissä kahdessa eri toimintamallissa on runsaasti eroja valmistuksessa lopputuloksen ja käyttötarkoituksen pysyessä suhteellisen samana. Taloudellisesta näkökulmasta tarkasteltuna kaupallisiin biohajoaviin materiaaleihin pohjautuvien poratulppien tuotantomäärät

on oltava todella suuria, ja siihen olisi sidottava suuria summia rahaa. Lisäksi olisi tehtävä markkinointityötä niiden myyntiin tai varastoitava omaan käyttöön, jolloin pääomaa on sidottuna varastoituu tuotteeseen. Toisaalta tuotteen hinnan ennakointiin ei tarvitse varautua valmistuksen osalta eikä tuotteen menekistä tarvitse huolehtia, koska investointi ei lankeaisi itselle ja riskit varastoa lukuun ottamatta ovat minimaaliset.

Kierrätyspahviporatulpissa taas on koko valmistus omalla vastuulla niin investointien kuin riskien osalta. Tuote tulee saada prototyyppiasteella toimivaksi ja arvioida valmistuksen kulut ja kilpailukykyisyys. Toisaalta jäteraaka-ainevirran hyväksi käyttäminen uudeksi tuotteeksi on mielenkiintoinen ja palkitseva kokemus. Tuotannollisesti kannattavalla linjastolla sillä voi olla nykymarkkinoilla yrityksen pr-arvollisesti ja ympäristöarvollisesti suuri merkitys. Muovisella tuotteella tällaista arvoa ei saavuteta.

Pahviporatulpan valmistuksen saattaminen taloudellisesti kannattavaksi menetelmäksi voisi olla mielenkiintoinen haaste. Tämä edellyttäisi taloudellisesti kannattavan laitteiston suunnittelua.

YHTEENVETO

Molemmissa tuotteissa on omat hyvät puolensa. Nykytrendeissä, joissa haetaan kulutuskestäviä, luonnon arvot täyttäviä ja matalahiilijalanjätkisiä tuotteita, molemmat tuotteet voisivat menestyä. Kasvavassa määrin monissa projekteissa mitataan ympäristöarvojen ja ympäristöystävällisten materiaalien käyttöä osana kokonaistoteutusta. Nämä näkymät huomioon ottaen tuotteena kumpikin näistä olisi markkinoilla vakavasti otettava haastaja perinteiselle.

Jatkotutkimuksena ehdotetaan pahviporatulpan valmistuksen kehittämistä taloudellisesti kannattavaksi menetelmäksi. Tämä edellyttäisi erilaisen tuotantolaitteiston suunnittelua, mutta voisi olla kannattava vaihtoehto.

LÄHTEET

ECE PDH Courses. 2020. Black powder. WWW-dokumentti. Päivitetty 31.10.2020. Saatavissa: <https://engineer-educators.com/lessons/black-powder/> [viitattu 4.11.2020].

FSP Australia. 2019. Drill and blast - hole savers. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mining-technology.com/wp-content/uploads/sites/8/2019/04/Hole-Savers-2019-AU.pdf> [viitattu 2.11.2020].

Gröönroos, J. 2020. Biohajoavia Cukka oy:n mukeja. Kuva. Cukka Oy.

Katajajuuri, J-M. 2018. Muovien haitat ja vahvuudet – kohti kokonaiskestävyydeltään vielä parempia biopohjaisia uusia ratkaisuja. Blogiartikkeli. Luonnonvarakeskus 16.5.2018. Saatavissa: <https://www.luke.fi/blogi/muovien-haitat-ja-vahvuudet-kohti-kokonaiskestavyydeltaan-viela-parempia-biopohjaisia-uusiatkaisuja/> [viitattu 4.11.2020].

Koikkalainen, J. 2020a. Valmista kenttää, jossa Okarplast 33 -muovitulppa. Uudistie Espoo 2017. Kuva. Sterkman Oy.

Koikkalainen, J. 2020b. Poratulppia ja prototyyppejä. Kuva. Sterkman Oy.

HIILIKUIDUN KELAUS- JA INFUSOINTIMENETELMIEN KEHITTÄMINEN KOEKAPPALEIDEN VALMISTUKSESSA

Riku Haapiainen & Kari Dufva

Asiasanat: hiilikuitu, vinyyliesteri, kelauslaminaatti, alipaine-infuusio, vetotestaus

TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Opinnäytetyöni tavoitteena oli kehittää valmistusprosessia hiilikuitukomposiittien koesauvojen valmistuksessa. Koesauvoja käytetään laminaatin mekaanisten ominaisuuksien tutkimukseen, ja opinnäytetyön tavoitteena oli myös saada alustavia tuloksia vetotestauksen avulla. Työssä tutkittiin hiilikuidusta ja vinyyliesteristä valmistetun kelauslaminaatin poikittaisia vetoarvoja ja saatiin tietoa hiilikuidun ja matriisin sidoksen vahvuudesta. Opinnäytetyö on tehty Vitrulan Composites Oy:n Mikkelin tehtaan toimeksiannosta.

Työssä valmistettiin kelauslaminaatti neljän eri valmistajan hiilikuitutouveista, kehitettiin kelausmenetelmää toimivammaksi ja varmemmaksi sekä testattiin ja edelleen kehitettiin eri infuusio menetelmiä onnistuneen laminaatin aikaansaamiseksi.

Lujitemuovin mekaaniset ominaisuudet määräytyvät pääasiassa kuitujen materiaalin ja suuntautuneisuuden perusteella. Kuormitusta ei aina voida suunnata kuitujen suuntaan, ja tällöin matriisin ja kuidun välisen rajapinnan käyttäytyminen on erittäin merkittävä. Tässä työssä laminaateista valmistettujen koesauvojen avulla selvitettiin matriisin ja kuidun välisen sidoksen vahvuutta. Hiilikuidusta valmistetun komposiitin (hiilikuitu + matriisimuovi) hyvät mekaaniset ominaisuudet ovat lähes samat kuin hiilikuidulla itsellään; veto- ja taivutuslujuudet ovat erinomaiset kuitusuunnassa. Kuitusuuntaa vastaan eli 90°:n suunnassa ominaisuudet ovat merkittävästi heikompia, ja ne ovat lähes matriisimuovin ominaisuuksia vastaavia. /1, s. 85./

Materiaalin valmistusmenetelmällä on suuri vaikutus materiaalin ominaisuuksiin, ja tästä syystä koekappaleita valmistettaessa on syytä kiinnittää erityistä huomiota käytettävissä olevaan valmistusmenetelmään. Materiaalitestauksessa tasalaatuisen ja toistettavan materi-

aalin valmistus on erittäin tärkeää. Työssä käytettävät kuitukelaus- ja infuusiomenetelmät tuottavat keskenään hyvin erilaisen laminaatin. Työssä on sovellettu kuitukelauksen periaatetta mandrellille ja tämän jälkeistä kuitujen impregnointia alipainemenetelmän avulla.

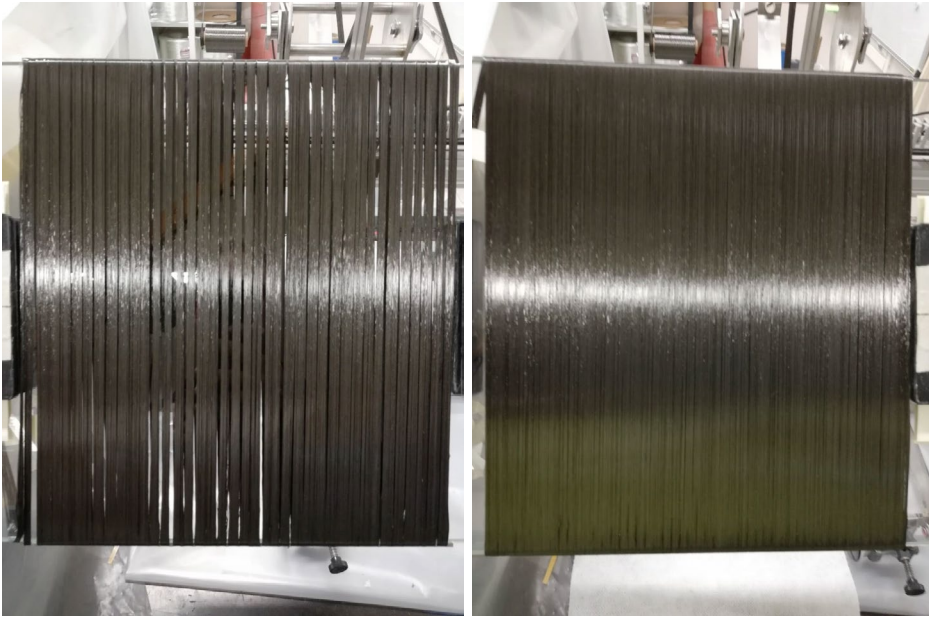
TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Työssä käytettiin lujitekuituina hiilikuitua. Hiilikuitu on kuitu, jonka hiilipitoisuus on yli 95 prosenttia. Sen parhaat ominaisuudet ovat korkea kimmomoduuli, huippuluokan vetolujuus sekä se soveltuu hyvin muovien lujitteeksi. Saavutettavat kuituominaisuudet ovat vahvasti sidoksissa lähtöaineisiin ja menetelmään, jolla kuitu valmistetaan. Parhaiksi lähtöaineiksi hiilikuidun historian alussa osoittautuivat viskoosi- ja polyakryyli-nitriilikuidut, joista erityisesti PAN-kuitu on se, josta valmistetaan nykyisin melkein kaikki sekä korkean lujuuden että korkean kimmomoduulin omaavat, muovien lujittamisessa käytettävät hiilikuidut. /1, s. 81./

Hiilikuidut valmistetaan jatkuvina kuitukimppuina eli touveina, joiden filamenttiluvut vaihtelevat käyttötarkoituksista ja valmistajasta riippuen. Tutkimuksessa käytettyjen kuitujen touvikoot ovat 50K, 30K sekä kahdessa kuitulaadussa 24K. Yhden filamentin halkaisijan kokoluokka on 5–10 µm sekä tiheys noin 1,8 g/cm³.

Laminaattien matriisimateriaalina käytettiin vinyyliesteriä. Vinyyliesterihartsien hyviä ominaisuuksia infuusiassa ovat alhainen viskositeetti, kovettuminen huoneenlämmössä, kuidun hyvä kyllästettävyyden sekä vahva tartunta kuituun. Kovettumisreaktio on kolmivaiheinen, ja se alkaa geeliytymisellä eli hyytymisellä ja jatkuu kovettumisella. Viimeisenä vaiheena on jälkikovuus. Kovettumisreaktio on eksotermiäinen, eli se kehittää lämpöä ja näin nopeuttaa itse itseään. Hartsit kovettuvat täydellisesti vasta jälkikovuudessa, joka on hyvin tärkeä vaihe, koska hyvät ominaisuudet saadaan vasta silloittumisreaktion ollessa täydellinen. Huoneenlämmössä kovetteena käytetään kobolttinaftenaattia, dimetyyliani- liinia (DMA) tai metyylietyyliketoniperoksidia (MEKP). /1 s. 44./

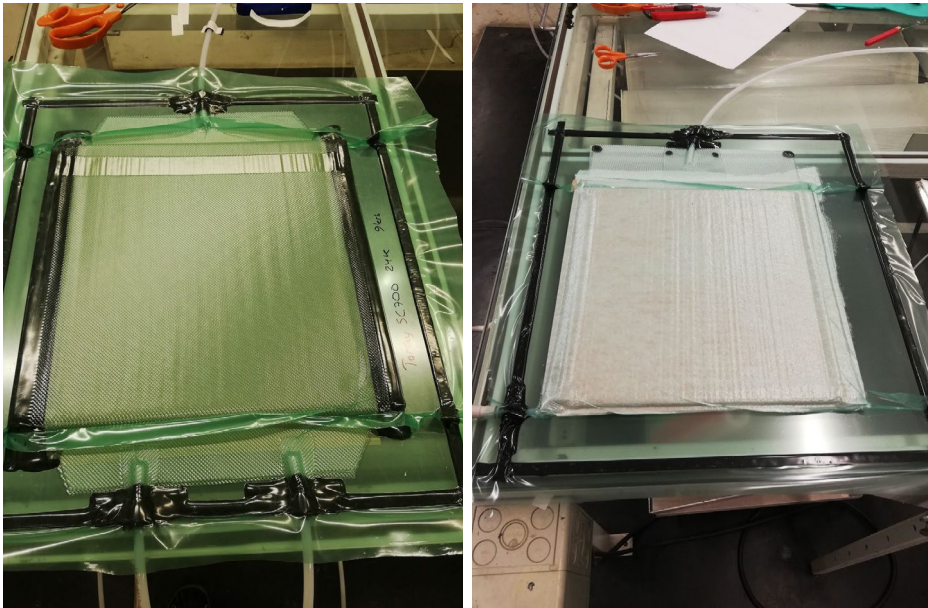
Hiilikuitu kelataan tasaisen lasimandrellin ympärille. Mandrelli täytyy esikäsitellä huolellisesti puhdistusaineilla, huokoslakalla ja irrotusaineella, jotta lasin pinnasta saadaan likaa hylkivä ja käsittely helpottaa laminaatin irrotusta infusoinnin jälkeen. Ensimmäiset kelaukset toteutettiin kelaamalla hiilikuitutouvi suoraan lasin päälle. Seuraavissa versioissa mandrelliin kiinnitettiin ennen kelausta tiivistenauhaa reunoihin sekä sen päälle virtausverkkoa ja irrotuskangasta. Kuvassa 1 on esitetty kuitukelauksen periaate, jossa lasilevyn päälle kelataan hiilikuituja. Kuidut muodostavat tasaisen kuitukerroksen ja kuitujen suuntautuneisuus on hyvin hallinnassa.



Kuva 1. Kuitukelauksen toimintaperiaate ja kehittyminen (Riku Haapiainen)

Alipaineinfuusio tasossa tehdään mahdollisimman tasaisen pinnan päällä. Lasipintainen pöytä soveltuu tähän mainiosti. Pöytään teipataan tiivisteteipillä alue, jonka sisäpuolelle jää infusoitava kappale. Tiivisteteippineliön vastakkaisille puolille asetetaan hartsinvirtausputket syötölle sekä imulle. Teippien päälle asetetaan alipainesäkki, josta imetään ilma pois pumpulla ja saadaan alipaine aikaiseksi. Säkin täytyy olla täysin ilmatiivis sekä tarkasti kiinnitetty tiivisteteippeihin, jotta on mahdollista saavuttaa haluttu alipaineen taso, (noin -1 bar). Ennen alipainepumppua on astia (overflow vessel), johon valuu ylimääräinen hartsi ja joka estää hartsin pääsyä pumpulle asti mahdollisesti estäen rikkomasta sitä. Infuusio lopetetaan pudottamalla alipaineen tasoa ja sulkemalla hartsia syöttävä putki, kun infusoitava kappale on täysin kastunut. /2./ Hartsin kovettumisen jälkeen kappale voidaan poistaa muotista ja laittaa jälkikovettumaan.

Alipaineinfuusion koejärjestely on esitetty kuvassa 2. Kuvassa valmistettava laminaatti on vaakatasossa, ja sitä kiertävät tiivistysnauhat näkyvät kuvassa mustina.



Kuva 2. Infusointimenetelmän koejärjestely, oikeanpuoleisessa kuvassa hyödynnetään VAP-kalvoa (Riku Haapiainen)

Kuvassa 2 näkyvä VAP-kalvo päästää ilman läpi muttei hartsia, joten kastumisen pitäisi olla varmempaa ja tasaisempaa. Alipaineen pitäisi kuljettaa hartsia ja ilmaa sen edellä laminaatin ulkopintojen suuntaan. /3./

Koekappaleiden pätyihin liitettävät tartuntaa parantavat palat valmistetaan liimaamalla epoksiliimalla ± 45 -asteinen 60 millimetriä korkea lasilaminaattisuikale ($\sim 800\text{g/m}^2$) hiilikuitulaminaatin reunoille molemmille puolille laminaattia. Se varmistaa hyvän pidon ja ehkäisee luistamista vetosauvojen päädyissä. Vetosauvat tulevat kiinni vetokoneen leukoihin. /4./ Osat hiotaan ja oikaistaan vielä kevyesti ennen vetosauvojen sahausta. Osien väliin jätetään standardin SFS-EN ISO 527-1/4/5 mukainen 150 millimetriä pitkä vetoalue /5/.

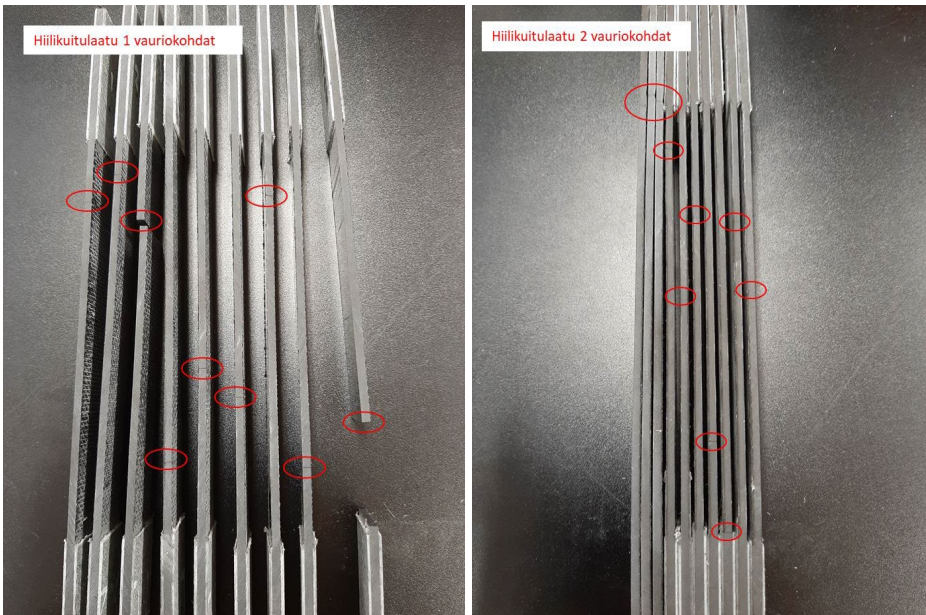
LAMINAATTIEN TESTAUS

Valmiista laminaateista sekä puhtaasta hartsista otettiin näytteet DSC-analyysejä varten. Analyyseillä saadaan tietoa vinyyliesterin kovettumisasteesta. DSC-laitteella tutkittavia ominaisuuksia ovat lasinsiirtymä- ja sulamislämpötilat, koostumus, kiteisyys, ja hapettumislämpötilat. Laitteistolla voidaan tutkia myös esimerkiksi sulamispistettä ja lämpövirtausta. /6, s. 6–7./ Kaikista näytteistä löytyi jälkireaktiivisuutta samalta lämpötila-alueelta, noin $100\text{--}150\text{ }^\circ\text{C}$.

Vetosauvojen testaus suoritettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Mikkelin kampuksen materiaalitekniikan laboratoriossa. Laitteena toimi MTS-merkkinen vetokone. Ekstensiometrinä vedoissa käytettiin laitetta MTS 634.31F-24 Extensometer. Vetotestit suoritettiin standardin SFS-EN ISO 527-1/4/5 mukaan nopeudella $1 \pm 0,2$ mm / min. Vetokokeiden koekappaleet on esitetty kuvassa 3.

TULOKSET

Laminaattien impregnoinnissa ilmeni vajaata kastumista sekä heikkoa pinnanlaatua. Menetelmä vaihdettiin VAP-kalvolla toteutettavaan versioon, jossa ilmeni myös ongelmia kastumisen kanssa. DSC-analyysien perusteella ensimmäisessä lämmityssyklissä on havaittavissa jälkikovettumisreaktio kaikissa laminaattinäytteissä. Eksotermistä kemiallista reaktiota kuvaava muutos tapahtuu lämpötila-alueella 80–150 °C. Laminaatin kovettumisaste vaikuttaa alhaiselta, koska lasipistettä ei voida havaita ensimmäisestä lämmityssyklissä. Toisessa lämmityssyklissä on tulkittavissa matriisille tyypillinen lasittumislämpötilaa kuvaava perusviivan porrasmainen muutos lämpötila-alueella 135–145 °C. DSC-mittausten perusteella laminaatin matriisin kovettuminen jäi alhaiselle tasolle.



Kuva 3. Vauriokohtien tarkastelua, hiilikuitulaadut 1 ja 2 (Riku Haapiainen)

Ensimmäisen hiilikuitulaadun kohdalla kuvassa 3 sauvat katkesivat vetoalueelta, mutta jäivät kuitenkin ”kiinni” toisiinsa paria sauvaa lukuun ottamatta. Vetokokeiden tulokset jäivät alle 20 MPa kaikilla testatuilla laminaateilla.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Kelausmenetelmän kehitys onnistui hyvin, ja laatua saatiin parannettua huomattavasti verrattuna aloitustilanteeseen. Kelausvaiheen onnistuminen olikin edellytys laminaattien valmistukselle.

Vetokokeiden tulokset jäivät mielestäni liian alhaisiksi, koska jo pelkän vinyyliesterin ilmoitettu vetolujuus on 79 MPa /6/. Tähän vaikutti todennäköisimmin ei niin hyvin onnistuneet laminaatit. Infuusiomenetelmissä tai hartsissa oli siis jotain pielessä, koska aivan täydellistä laminaattia ei saatu aikaan. DSC-mittausten perusteella laminaatin matriisin kovettuminen jäi alhaiselle tasolle. VAP-kalvolla tehtyjen laminaattien laatu muodostui heikoksi, ja menetelmän soveltaminen vaatii vielä lisää tutkimusta ja kehittämistä. Mahdollista on, että vinyyliesterin sisältämä styreeni on rakenteeltaan niin pienikokoista, että se pääsee poistumaan VAP-kalvon läpi ilman kera, eikä hartsi kovetu ilman styreeniä.

Jatkotutkimusta tarvitaan myös vetosauvojen leikkausmenetelmän valintaan, jotta särövaikutus saataisiin mahdollisimman minimaaliseksi. Aihe oli erittäin mielenkiintoinen, ja työstä oli hyötyä itselleni ja toimeksiantajalle, vaikkei haluttuja tuloksia aivan saavutettukaan. Menetelmistä kertyi tarvittavaa tietoa lisätestaamista varten, ja erityisesti hartsisysteemin kehitykseen tulee kiinnittää huomiota.

LÄHTEET

1. Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M. & Komppa, V. Komposiittirakenteet. Helsinki: Muoviyhdistys ry. 2007.
2. ASM Handbook. ASM International Handbook Committee. PDF-tiedosto. 2001.
3. VAP® Vacuum Assisted Process. Trans-Textil GmbH. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.vap-info.com/en/download/VAP-vacuum-assisted-process.pdf> [viitattu 1.11.2020].
4. Endtab-laminaattien valmistaminen – sisäinen työohje. Ahlstrom - Munksjö Glassfibre Oy. 2016.
5. SFS-EN ISO 527-1/4/5 Plastics. Determination of tensile properties. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
6. Tiala, J. Differentiaalinen pyyhkäisykalorimetri. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 2011.
7. Technical data sheet. Compoflex® RF 3. Fibertex. WWW-dokumentti. Päivitetty 2.11.2020. Saatavissa: <https://www.fibertex.com/products/composites/compoflex-overview/compoflex-rf3> [viitattu 3.11.2020].



XAMK
KEHITTÄÄ