

**SÄHKÖISEN JÄTEAUTON MAHDOLLISUUDET
KAUPUNGIN JÄTEHUOLLOSSA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Liikenneala, insinööri (AMK), Riihimäen kampus
Kevätlukukausi 2021
Tommi Paalanen

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tutkia sähköisen jäteauton sopivuutta kaupunkien jätehuoltoon. Opinnäytetyössä tutkittiin nykyisten käytössä olevien jäteajoneuvojen aiheuttamaa ympäristömelua sekä jätekuljetuksesta aiheutuvia päästöjä. Näitä arvoja käytettiin vertailukohtana tutkittaessa sähköisen kuorma-auton soveltuvuutta jätekuljetuksiin.

Opinnäytetyössä oli yhteistyökumppanina L&T Ympäristöpalvelut Oy sekä Lahden kaupunki. Tutkimusmenetelminä käytettiin melumittauksia sekä havainnointia. L&T toimitti omalta osaltaan tarvittavan ajosuoritedatan päästöjen toteamiseksi.

Raportti alkaa teoriaosuudella melunmittaamisesta sekä kuorma-autojen päästöistä. Osiossa käsitellään myös jäteauton polttoaineet ja niiden ominaisuudet. Teoriaosion lopussa tarkastellaan eri vaihtoehtoja jäteajoneuvojen voimanlähteiksi. Lopuksi esitellään tutkimustulokset ja analysoidaan niitä. Tutkimustulosten analysoinnin yhteydessä tehdään vertailu sähkökäyttöiseen jäteautoon.

Lopuksi esitellään johtopäätökset kaupungin jätekuljetusten optimoinniksi tuloksina ja kehitysehdotuksina. Muutosten avulla keräilyä voidaan tehostaa asumismukavuutta uhraamatta. Kehitysehdotusten toimeenpanoon voidaan vaikuttaa kaupunkien jätehuoltosuunnittelussa, sekä myös jätehuolto toimijoiden osalta.

Avainsanat jätekuljetus, biokaasu, sähköinen jäteauto

Sivut 55 sivua ja liitteitä 1 sivua

ABSTRACT

The topic of this thesis was to study the suitability of an electric refuse truck for urban waste management. The thesis examined the environmental noise caused by the waste vehicles in use and the emissions from waste transportation. These values were used as a reference point in examining the suitability of an electric truck for waste transportation.

The commissioner of the thesis was L&T Environmental Services Ltd and the City of Lahti. Noise measurements and observation were used as research methods. For part, L&T Environmental services Ltd provided the necessary driving performance data to determine the emissions.

This report begins with a theoretical section on noise measurement and truck emissions. The first section also discusses refuse truck fuels and their properties. At the end of the theoretical part, different options for power sources for waste collection vehicles are considered. Finally, the research results are presented and analyzed. In connection with the analysis of the research results, a comparison is made to an electric refuse truck to standard diesel- or biogas refuse truck.

Finally, conclusions for optimizing the city's waste transportation are presented in terms of results and development proposals. With the changes, the collection could be made more efficient without sacrificing living comfort in the area. The implementation of the development proposals can influence urban waste management planning, as well as the actors in waste management.

Keywords Waste transportation, biogas, electric refuse truck

Pages 55 pages and appendices 1 pages

Sisälllys

1	Johdanto	1
2	Melu ja päästöt.....	3
3	Päästötavoitteet	6
4	Jätteidenkuljetus tänään	8
4.1	L&T Ympäristöpalvelut Oy, Lahti.....	8
4.2	L&T Kalusto	8
4.3	Sähköinen jäteauto	9
5	Case keräilyreitti	9
6	Polttoaineen kulutus	13
7	Nykyiset ajoneuvot	16
7.1	Biokaasulla alhaisemmat CO ₂ -päästöt	17
7.2	Biokaasun tuottaminen.....	18
7.3	Biokaasun ympäristövaikutukset	19
7.4	Biokaasu on metaania.....	20
8	Sähköinen vaihtoehto.....	21
9	Melu ja ääni	25
9.1	EU:n ympäristömeludirektiivi	25
9.2	Ääniaallot ja taajuus.....	26
9.3	Melun mittaaminen	29
9.4	Mittausten käsittely	33
9.5	Aikajakauma	35
9.6	Painotukset	36
9.7	Ekvivalenttitaso Leq	38
10	Tulokset melusta	39
10.1	Äänimittaukset.....	39
10.2	Melun taajuudet	41
10.3	Polttomoottorin aiheuttama ääni.....	43
11	Tulokset päästöistä.....	45
11.1	Fossiiliset polttoaineet.....	45
11.2	Energian päästökertoimet	46
11.3	Vertailu hinnoittain	48
11.4	Ajosuorite.....	48
12	Johtopäätökset ja arviointi	49

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Ympäristösäädökset 2020 – 2030.....	4
Kuva 2. Päästöt LVM.....	6
Kuva 3. Case reitin mittaustuloksia L&T.....	13
Kuva 4. Ajoneuvon kulutus L&T.....	14
Kuva 5. Jäteraportti L&T.....	14
Kuva 6. Jäteraportti L&T.....	15
Kuva 7. Mitattu dieselkäyttöinen jäteauto.....	16
Kuva 8. Mitattu biokaasukäyttöinen jäteauto.....	17
Kuva 9. Anaerobisen metaanituotto-prosessin vaiheet.....	19
Kuva 10. Sähköinen jäteauto.....	21
Kuva 11. Kuorma-auto alustan sähköistäminen. Emoss.	22
Kuva 12. Sähkökuorma-auton toimintakapasiteetti	24
Kuva 13. Fletcher-Munson vakioäänekkyyskäyrästä	28
Kuva 14. Mittauskalusto.....	30
Kuva 15. Larson Davis äänimittarin kalibrointilaite.....	31
Kuva 16. Taustamelun mittauspisteet Lahden keskustassa.....	32
Kuva 17. Jätesäiliön tyhjennys rivitalon pihalla.....	33
Kuva 18. Mittarin näyttö 500 Hz taajuuskaistalla.....	34
Kuva 19. Äänitasomittarin näytössä main ja sub valinnat	35
Kuva 20. Roskasäiliön tyhjennys.....	36
Kuva 21. Ihmiskorvan herkkyys taajuuksille	37
Kuva 22. Ajan funktiona vaihtelevan äänenpainetaso	38
Kuva 23. Jäteauton melu ja taustamelu	40
Kuva 24. Diesel- ja biokaasukäyttöisen jäteauton taajuusjakaumat.....	41
Kuva 25. Keskimääräinen melu	42
Kuva 26. Mitatut äänenvoimakkuudet diesel- ja biokaasukäyttöisistä jäteautoista	44

Liitteet

Liite 1 Äänimittarin kalibrointilaitteen kalibrointitodistus

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia jätekuljetuksen logistiikkaa kaupunkiolosuhteissa ja miten sähkökäyttöinen jäteauto soveltuu siihen. Työssä tutkitaan jätteiden keräilystä aiheutuvaa ympäristömelua sekä jätekuljetusauton tuottamia sekä välittömiä että välillisiä päästöjä. Keskeisinä kysymyksinä ovat sähkökäyttöisen jäteauton rajoitukset ja edut kaupungissa toimittaessa. Ensimmäinen suomalainen sähkökäyttöinen jäteauto on vasta rakennusasteella, joten tiedot ja kokemukset ovat arvioita. Koska sähkökäyttöisiä autoja Suomessa ei vielä jätekuljetuksen tehtävissä liikennöi, suoritimme melumittaukset nykyisin käytössä olevilla diesel- sekä biokaasuajoneuvoilla. Päästötulokset laskettiin L&T Ympäristöpalvelut Oy:n oman kulutusseurannan mukaan. Sähköajoneuvon tuloksista tehtiin arvio valmistajan ilmoittamien tietojen perusteella.

Tämä työ rajattiin alueellisesti Lahden kaupungin keskustaan. Alueena ovat: Keski-Lahti, Kartano, Paavola, Kiveriö. Alueen pinta-ala on noin 5 km² ja väkiluku 2018 noin 21500 as. Jätekuljetustoiminnassa alueella osaltaan toimiva L&T Ympäristöpalvelut Oy lähti mukaan tukemaan tutkimuksen toteutusta, antamalla tutkimuksen käyttöön tietoja kuljetusreiteistä sekä aikatauluista. Samalla myös mahdollistui jäteautojen melun mittaaminen, joka oli olennainen osa tutkimusta. Heiltä sain myös tiedot jäteautojen polttoainekulutuksesta. Ilman yksityiskohtaista kulutus seurantaa ajosuoritteista päästölaskemien tekeminen olisi ollut vaikeaa tai mahdotonta.

Opinnäytetyö tehtiin kevään 2021 aikana siten, että melumittaukset ajoittuivat helmimaaliskuun vaihteeseen. Tuolloin lämpötilat olivat melumittaukselle jo riittävän lämpimät. Mittauksissa pyrittiin keskittymään ainoastaan jäteauton aiheuttamaan meluun ja esimerkiksi mittaus aloitettiin vasta peruutus signaalin sammuttua. Vallitseva ympäristömelu mitattiin, jotta sitä voitiin käyttää vertailukohteena. Päästölaskentaa varten saatiin kulutustiedot päivän päätteeksi. L&T Ympäristöpalvelut Oy toimitti tietoja myös edelliseltä

vuodelta, joita pystyin käyttämään vertailutietoina. Näiden pohjalta voitiin laskea vuoden keskiarvoja. Työn lopussa esitellään myös kehitysideoita, mutta näiden kehitysideoiden toimeenpano on rajattu pois työstä. Muutoin työmäärä muodostuisi liian suureksi.

Opinnäytetyö alkaa teoriaosuudella äänestä mitattavana suureena. Ympäristömelusta ja melun mittaamisesta sekä raskaan liikenteen päästöjen laskennasta. Tutkitaan myös päästöjä eri energiamuotojen kesken. Jäteauton energialähteinä ovat diesel, biokaasu ja sähkö. Teoriaosuuksien jälkeen on opinnäytetyön case-osio. Tutkintaa varten valitsin tutkittavalta alueelta sopivan keräilyreitit, johon tutkimuksessa erityisesti perehdyin. Reitti koostuu 111 osoitteesta Lahden kaupungin keskustassa ja kuvaa hyvin kaupungin keskustan olosuhteita katujärjestelyineen ja ahtaine pihapiireineen. Case-osiossa selvitetään oleelliset ja tärkeimmät kysymykset melun kannalta: Mistä melu jätekeräilyssä syntyy? Mitkä ovat suurimmat yksittäiset melun lähteet? Kuinka moni näistä riippuu ajoneuvon käyttövoimasta? Päästöjen kannalta mietitään keräilyreitit ominaisuuksia ja pohditaan millaisia vaatimuksia sähkökäyttöinen jäteauto asettaa kaupunki-infralle? Millaisella optimoinnilla jätteet saadaan keräiltyä mahdollisimman ympäristöystävällisesti sekä ympäristömelu että päästöt huomioon ottaen? Kun tärkeimpiin kysymyksiin on vastattu, tutkimustulokset analysoidaan. Analysoinnin yhteydessä tuodaan esille kehitysehdotuksia. Lopuksi käydään läpi tutkimuksen haasteita ja tulosten luotettavuutta.

Opinnäytetyössä käytetään tutkimusmenetelminä kenttämittauksia ja havainnointia sekä mitattua että tilastotietoa ajosuoritteista. Työn teoriaosuuden lähteinä käytetään pääsääntöisesti kirjallisuutta ja verkkojulkaisuja. Työn case osiossa taas käytetään Lassila&Tikanoja Ympäristöpalvelu Oyn omia raportteja sekä jalkaudutaan kenttäolosuhteisiin tekemään melumittauksia. Johtopäätöksissä ja yhteenvedoissa käytetään opinnäytetyön kaikkia tiedonlähteitä ratkaisuehdotusten ja kehitysideoiden tuottamisen tueksi.

2 Melu ja päästöt

Uusien vaihtoehtoisten käyttövoimien tarve kasvaa maapallon saastumisen, väestönkasvun ja ilmastonmuutoksen seurauksena. Siksi on tarpeen tutkia, mitä vaihtoehtoja on tullut tai on tulossa korvaamaan perinteisiä dieselmoottoreita jätteautoissa. Vaihtoehtoisia käyttövoimia ovat sähkö, polttomoottorisähkö hybridi, maakaasu ja biokaasu. Kaikista näistä energiavaihtoehdoista on jo esimerkkejä jätteenkuljetusajoneuvoissa. Tässä työssä tutkitaan mitkä vaihtoehdot tarjoavat parhaita etuja kaupunkien jätekuljetukseen. Tutkimus myös selvittää olemassa olevaa Lahden kaupungin infraa liikennekaasujakelun ja hyötyajoneuvojen latausmahdollisuuksien osalta.

Tutkimus toteutettiin yhteistyössä L&T Ympäristöpalvelut Oy:n ja Lahden kaupungin kanssa. Yhteistyö antoi tutkimukseen tarvittavaa informaatiota olemassa olevista järjestelyistä sekä L&T Ympäristöpalvelut Oy toimitti tilastotietoa toteutuneista ajosuoritteista. Yhteistyötä tarvittiin myös mittausten tekemissä sillä mittaukset tuli suorittaa varsinaisen jätteenkeräyksen aikana. Melumittarin sain lainaksi HAMKilta ja yliopettaja Jukka Varrion neuvoi melunmittaussuunnitelmassa. Lahden kaupunki toimitti käyttöön tutkimuksissa tarvittavan melumittarin kalibrointilaitteen. Tarkoitus oli perehtyä jätekuljetusten aiheuttamaan melusaasteeseen. Koska väestökeskittymät kasvavat, kasvaa myös yhdyskuntajätteen kuljetuksen määrä. Näin ollen tutkimuskysymys ympäristömelusta myös jätteauton osalta on relevantti.

Melusaaste on suuri ympäristöongelma ja se on myös alati kasvava kaikkialla maailmassa. Euroopan ympäristökeskuksen (EEA) raportti: ”Ympäristömelu ja erityisesti tieliikennemelu ovat edelleen merkittävä ympäristöongelma, joka vaikuttaa miljoonien eurooppalaisten terveyteen ja hyvinvointiin. Viidesosa Euroopan väestöstä altistuu sellaisille pitkän aikavälin melutasoille, jotka ovat haitallisia heidän terveydelleen. Tämä tarkoittaa yli sataa miljoonaa ihmistä Euroopassa. Tiedoista voi myös päätellä, että ympäristömelua koskevia poliittisia tavoitteita ei ole saavutettu. EEA:n ennusteiden perusteella näyttää epätodennäköiseltä,

että melulle altistuvien määrä vähenisi tulevaisuudessa merkittävästi kaupunkien kasvun ja liikkuvuuden lisääntymisen vuoksi.” (Euroopan ympäristökeskus, 2020)

Toinen tutkimuskysymys on luonteeltaan vielä laajempi ja pitkävaikutteisempi. Tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen ennustetaan laskevan Suomessa 2020-luvulla ja siksi tavoitteena olevaan päästöjen puolittamiseen vuoteen 2030 mennessä tarvitaan lukuisia toimenpiteitä (Kuva 1). Teknologian tutkimuskeskus VTT:n laatiman ennusteen mukaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöt vähenevät nykyisillä toimenpiteillä yhteensä noin 37 prosenttia vuoteen 2030 mennessä.

Tärkeimmät päästöjen kehitykseen vaikuttavat säädökset ja toimenpiteet vuosille 2020–2030 mallinnetussa päästöprojektiossa eli peruslinjassa.

Kuva 1. Ympäristösäädökset 2020 – 2030 (Ympäristöministeriö)

Toiminto	Säädös tai muu toimenpide
Energiantuotanto ja teollisuus (jätteenpolto mukaan lukien)	<ul style="list-style-type: none"> Teollisuuspäästädirektiivi sekä energiantuotantoa ja eri teollisuudenaloja koskevat BAT-päätelmät, keskisuuria polttolaitoksia koskeva direktiivi Ympäristönsuojelulaki (527/2014) Valtioneuvoston asetus suurten polttolaitosten päästöjen rajoittamisesta (936/2014) Valtioneuvoston asetus keskisuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristönsuojeluvaatimuksista (1065/2017) Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta (151/2013)
Liikenne	Euro-päästöluokitukset (Euro 1–Euro 6) Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä (446/2007)
Maatalous	<ul style="list-style-type: none"> Teollisuuspäästädirektiivi sekä sikojen ja siipikarjan tehokasvatuksen BAT-päätelmät (komission täytäntöönpanopäätös (EU) 2017/302), nitraattidirektiivi Ympäristönsuojelulaki 527/2014 Nitraattiasetus (1250/2014) Toimintaohjelma maatalouden ammoniakkipäästöjen vähentämiseksi Suomessa. MMM:n julkaisu 1/2018.
Puun pienpolto	<ul style="list-style-type: none"> Ekosuunnitteludirektiivi (2009/125/EC) ja sen nojalla annetut komission asetukset tulisijoille ja keskuslämmityskattiloille 2015/1185 sekä 2015/1189
Jättesektori	<ul style="list-style-type: none"> Jätelaki (646/2011) Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (331/2013)

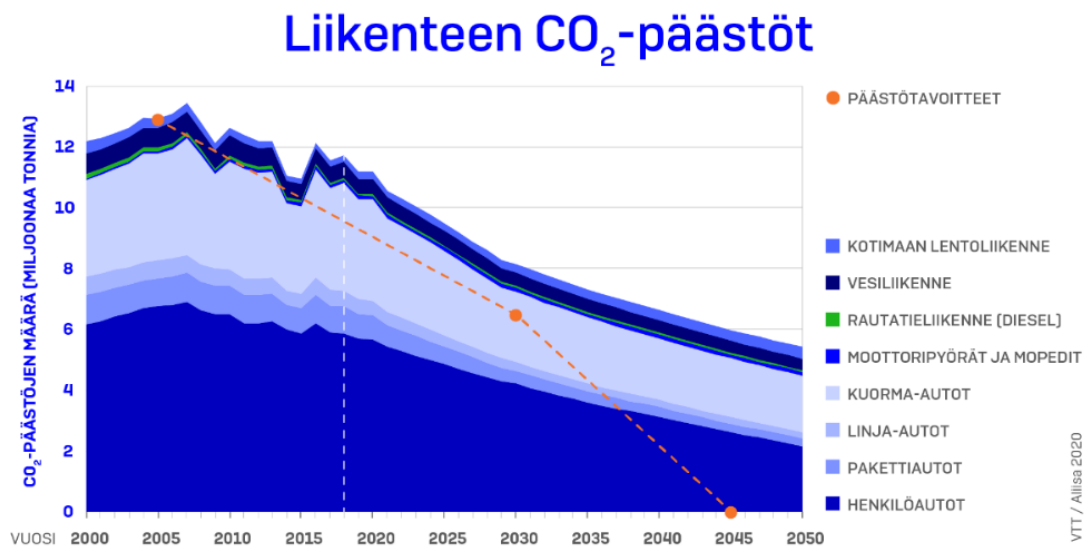
”Ilmansaasteiden aiheuttamat terveyshaitat sekä vaikutus ilmastonmuutokseen ovat tällä hetkellä yksi merkittävimmistä uhkakuvista ihmisten ja ympäristön kannalta.

Ympäristöministeriön mukaan Suomessa ilmansaasteiden on arvioitu aiheuttavan jopa yli 1600 ennen aikaista kuolemantapausta vuosittain (YM 2016), mutta kansainvälisesti ongelma on paljon suurempi. Suomessa ilmanlaatu on pääasiassa hyvä, mutta suurissa taajamissa ilmanlaatu on ajoittain huonoa. Tyypillisiä ilmanlaatua heikentäviä päästölähteitä pienhiukkasten osalta Suomessa on pienpoltto (46%), ja muu energiantuotanto (16%), liikenteen pakokaasut (12%), katupöly (10%), turvetuotanto (9%) ja teollisuus (7%) (YM2016). Liikenteen merkitys paikallisesti taajamissa ja vilkkaiden teiden varsilla on merkittävästi korkeampi, samoin kuin katupölyn osuus suuremmissa hengitettävien hiukkasten kokoluokassa. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi, samoin kuin ilmastonmuutosta kiihdyttävien päästölähteiden vähentämiseksi tarvitaan muutosta nykyiseen tilanteeseen. Liikenteen osalta tämä tarkoittaa uusia käyttövoimia ja polttoaineita. Niiden kokonaisvaikutusta ja merkitystä esimerkiksi ihmisten terveyteen ei toistaiseksi tunneta riittävän hyvin.” (Traficom, 2020)

3 Päästötavoitteet

Merkittävimmät ilmaston lämpenemiseen vaikuttavat pitkäikäiset kasvihuonekaasut ovat hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄) ja typpioksiduuli (N₂O). Näiden kaasujen pitoisuudet ovat kasvaneet ilmakehässä selvästi esiteollisesta ajasta (Kuva 2). Kasvihuonekaasujen pitoisuuksia säätelee ihmistoiminnan suorien päästöjen lisäksi ilmakehän ja ekosysteemien väliset vuorovaikutukset. Myös luontoperäiset päästöt ja nielut ovat merkittäviä. (Ilmatieteenlaitos, n.d.)

Kuva 2. Päästöt (VTT / Aliisa, 2020)



Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen perusennuste on pohja liikenteen ilmastopoliitikan valmistelulle. Liikenteen päästöjen perusennustetta hyödynnetään, kun lasketaan eri toimenpiteiden vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin. Liikenne- ja viestintäministeriössä laaditaan parhaillaan fossiilittoman liikenteen tiekarttaa. Se on suunnitelma siitä, miten kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöt puolitetaan vuoteen 2030 mennessä ja pudotetaan nollaan viimeistään vuonna 2045. Erityisen haastavaa on löytää keinot, joilla liikenteen kasvihuonekaasupäästöt saadaan poistettua vuoteen 2045 mennessä. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020)

Jäteautoissa ratkaisu päästövähennyksiin löytyy vaihtoehtoisista polttoaineista. Nykyisten diesel ja yhä lisääntyvien kaasuajoneuvojen rinnalle ollaan tuomassa hybridi sekä täyssähköajoneuvot. Biopolttoaineet ja erityisesti biokaasu on sopiva polttoaine jäteauton voimanlähteeksi.

Lahti on 2021 Euroopan ympäristökaupunki ja tavoitteet ovat linjassa.

”Jätehuollon pitkäjänteisen kehittämisen ansiosta meillä on uudenlaisia työpaikkoja kiertotalousyrityksissä ja jo 99 prosenttia kotitalousjätteestä menee hyötykäyttöön.”
(Greenlahti, 2021)

4 Jätteidenkuljetus tänään

4.1 L&T Ympäristöpalvelut Oy, Lahti

Yksikönpäällikkö, Suvi Vanhala: ”Suurelta osin Päijät-Hämeen alueella on tällä hetkellä voimassa jätteenhaltijan järjestämä jätehuolto, eli taloyhtiöt, omakotitalojen asukkaat ym. asiakkaat saavat itse valita haluamansa kuljetusfirman. Paine tietyiltä tahoilta jätehuollon kunnallistamiseen on kuitenkin suuri, vaikka riippumattomat tutkimukset ovat osoittaneet nykymallin toimivuuden. Melusta en ainakaan muista, että olisi vuosikausiin tullut valituksia suoraan asiakkailta, mutta esim. viranomaisten kannanotoissa tms. jäteauton melu nousee usein esiin. Nykymallissa asiakastyytyväisyys pysyy senkin kannalta korkeana, kun ollessaan tyytymätön esimerkiksi palveluun tai hintaan, hän voi vaihtaa toimijaa hyvin helposti.”

4.2 L&T Kalusto

Suurin osa yksikön kalustosta 2-lokeropakkaajia, toiseksi eniten tavallisia takalastaavia pakkaajia. Löytyy myös 3-lokeropakkaaja, pieniä kellariautoja, etulastaaja ja kpl-tavara-auto. Kaikki edellä mainitut ovat dieselkäyttöisiä. Tällä hetkellä niiden ajoista vajaa 5% ajetaan uusiutuvista raaka-aineista valmistetulla dieselillä. Suurin osa alustoista Scaniaalta ja pakkaajat *NTM* (Närpes Trä & Metall Ab - Närpiön Puu ja Metalli) Oyltä.

Yksikössä on kohta vuoden ajan ollut yksi 2-lokeropakkaaja, joka kulkee paineistetulla biokaasulla. Yksi tankkauskerta riittää kahdelle reitille eli noin 16h työhön. Yksittäisiä ongelmia tankkauksen hitauden kanssa on ollut, mutta muutoin kaikki on mennyt hyvin. Paikkakunnat, jotka ovat yhden tankkausaseman varassa, ovat herkempiä tankkausongelmille. Osa kuljettajista kokee kaasuauton (myös muissa yksiköissä) tehoiltaan vaatimattomaksi, mutta vakikuljettajat eivät totuttelujakson jälkeen ole kokeneet ongelmia senkään suhteen.

4.3 Sähköinen jäteauto

Suurin este kalustoinvestoinneille on jätehuollon tulevaisuuden epävarmuus. Uhka kunnallistamisesta on ilmassa, eikä isoa satsauksia ole mahdollista tehdä, kun ei ole varmuutta toiminnan jatkuvuudesta. Siirtymäajat on tehty niin lyhyiksi, että on suuri riski, että käyttökelpoinen kalusto jää vajaakäytölle. Kunnan järjestämässä mallissa kuntayhtiö määrittelee kalustovaatimukset tilaamiinsa urakoihin. Lisäksi sähköisten jäteautojen toimintaetäisyydet eivät ole vielä olleet riittävällä tasolla, jotta toimintaa olisi tarkemmin yksikössä harkittu, mutta seuraamme alan kehitystä ja pyrimme olemaan ensimmäisten joukossa tässäkin asiassa, niillä alueilla, jolla tulevaisuuden näkymät ovat riittävän hyvät.

(Suvi Vanhala, yksikönpäällikkö, L&T Ympäristöpalvelut Oy)

5 Case keräilyreitti

Tutkittava reitti ajettiin Lahden keskustan alueella. Reitti on pituudeltaan 54km ja osoitteita on 111 kappaletta, 37 kadulla. Pääosin osoitteet olivat kerrostaloja. Leimaavaa keräilyreitillä oli pihojen ahtaus ja lyhyet siirtymät. Pysähdykset olivat alle minuutin kestosta muutamaan minuuttiin, säiliöiden määrästä riippuen. Reitillä kerättiin melumittauksen aikana sekajätettä, yksilokeroisella dieselkäyttöisellä jäteautolla. Reitin keräykseen kuluu yksi työvuoro maanantaisin ja torstaisin.

Case-keräilyreitti kiersi seuraavilla kaduilla:

Osoite	Postinro	Postitoimipaikka
Ainonkatu	15140	LAHTI

Aleksanterinkatu	15140	LAHTI
Askonkatu	15100	LAHTI
Erkonkatu	15110	LAHTI
Harjukatu	15100	LAHTI
Harjulankatu	15150	LAHTI
Humpulankatu	15110	LAHTI
Hämeenkatu	15110	LAHTI
Kannaksenkatu	15140	LAHTI
Kariniemenkatu	15140	LAHTI
Karjalankatu	15140	LAHTI
Kauppakatu	15140	LAHTI

Kirkkokatu	15110	LAHTI
Kiveriönkatu	15140	LAHTI
Kymintie	15140	LAHTI
Laaksokatu	15140	LAHTI
Lahdenkatu	15140	LAHTI
Liimaajankatu	15520	LAHTI
Lounaankatu	15150	LAHTI
Loviisankatu	15100	LAHTI
Mannerheiminkatu	15100	LAHTI
Oikokatu	15140	LAHTI
Onnelantie	15150	LAHTI

Paasikivenkatu	15110	LAHTI
Panimokatu	15140	LAHTI
Poikkikatu	15140	LAHTI
Rautatienkatu	15100	LAHTI
Rautellinkatu	15140	LAHTI
Saimaankatu	15140	LAHTI
Salpausselänkatu	15800	LAHTI
Sammonkatu	15140	LAHTI
Seponkatu	15140	LAHTI
Sepänkatu	15150	LAHTI
Sibeliuksenkatu	15110	LAHTI

Tarmokatu	15140	LAHTI
Töyrykatu	15140	LAHTI
Yrjönkatu	15100	LAHTI

6 Polttoaineen kulutus

Lassila & Tikanoja ympäristöpalvelut Oy toimitti tutkimusta varten tarkat tiedot lastista ja kulutuksesta, suoraan ajojärjestelmästä (kuva 3)

Kuva 3. Case reitin mittaustuloksia (Lassila & Tikanoja ympäristöpalvelut Oy)

Kuorma	Tehtäväkohde	Kuljettaja	Tehtävälista	Rekisterinumero	Aloitusaika	Lopetusaika	Jätejäte	Tilavuus	Yksikköpaino	Paino
15-94089-225280	Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy Kujalan jäteasema		LHT_TL_00103 TO SEKÄ (A4) Keskusta	FNU-205	25.2.2021 06:33	25.2.2021 13:18	Sekajäte	103,8801 m ³	45,82207 kg/m ³	4760 kg

Raportista nähdään, että FNU-205 aloitti 06:33 ja lopetti 13:18. Sekajätettä kerättiin 4.76 tonnia. Tilavuutta 103.88 kuutiota yksikköpainon ollessa 45.82 kg/m³. Vastaanottoasema Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy Kujalan jäteasema. Polttoaineen kulutusta mitattiin jätteautoista kahdella tavalla (kuva 4). Dieselkäyttöisen auton kulutus saatiin ajojärjestelmästä.

Biokaasuauton tankkaukset taas saatiin laskutuksen perusteella hieman jälkikäteen tankkauslaskujen perusteella.

Kuva 4. Ajoneuvon kulutus (Lassila & Tikanoja ympäristöpalvelut Oy)

Ajoneuvoyhteenvetoraportit

Aikaväli: 25.02.2021 00:00 - 25.02.2021 13:35

Kalusta Käyttäjät Sarakeveit Tyyppi Suorita

Ajoneuvoyhteenvetoraportit#25.02.2021 00:00-25.02.2021 13:35

1-1 / 1

Nimi/numero	Ryhmät	Tyyppi	Matkoja	Kilometriä	Käynnissäaika	Ajokaika	Työajäkäynti	Kokonaiskulutus (l)	Kulutus (l/100km)
EBL2025	2250 Lahti jätehuolto	Takalastaja	17	54 km	7 h 3 min	5 h 21 min	1 h 42 min	34 l	62.7 l/100 km
Yhteensä			17	54 km	7 h 3 min	5 h 21 min	1 h 42 min	34 l	62.7 l/100 km

1-1 / 1

Kokonaiskulutus: 34l

Reitin pituus 54km

Kuormapaino sekajäte 4,76t

Kulutus 7,14 litraa dieseliä/tonni jätettä

Vertailukulutus biokaasuautolla vastaavissa olosuhteissa (kuva 5). Kaasuauton mittauspäivinä oli yhteensä 459 osoitetta.

Kuva 5. Jäteraportti (Lassila & Tikanoja ympäristöpalvelut Oy)

Kuorma	Tehtäväkohde	Kuljettaja	Tehtävälista	Rekisterinumero	Aloitusaika	Lopetusaika	Jätejäte	Tilavuus	Yksikköpaino	Paino
15-94117-225820	Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy Kujalan jäteasema		LHT_TL_74001 MA KP&EJ (R1) Hedelmätarha	FOG-578	1.3.2021 07:31	1.3.2021 14:51	Energia	48.71002 m3	26,27796 kg/m3	1280 kg
15-94117-225814	Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy Kujalan jäteasema		LHT_TL_74001 MA KP&EJ (R1) Hedelmätarha	FOG-578	1.3.2021 07:22	1.3.2021 14:50	Sekajäte	56.06004 m3	67,42771 kg/m3	3780 kg

Raportista nähdään, että 1.3 FOG-578 aloitti 07:31 ja lopetti 14:51. Sekajätettä kerättiin 3.78 tonnia ja energijätettä 1.28 tonnia. Yhteensä 5.06 tonnia. Vastaanottoasema Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy Kujalan jäteasema. Laskutustiedoista Gasumilta selvisi, että autoon oli

tankattu illalla 117,99 kg biokaasua. Mittauksia biokaasuautolla tehtiin kahtena päivänä Hollolassa ja Lahdessa. Kaasumäärä on kiloa ja säiliöt tankattiin aina täyteen. Autolla kerättiin sekä sekajätettä että energijätettä. Päästölaskentaa varten nämä laskettiin yhteen. Arvioimme että aamuvuoro käytti puolet tankatusta kaasusta, saamme tulokseksi: 1.3.2021 11.66kg biokaasua/tonni jätettä (kuva6).

Kuva 6. Jäteraportti (Lassila & Tikanoja ympäristöpalvelut Oy)

Kuorma	Tehtäväkohde	Kuljettaja	Tehtävälista	Rekisterinumero	Aloitusaika	Lopetusaika	Jätejäte	Tilavuus	Yksikköpaino	Paino
15-94117-226077	Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy Kujalan jäteasema		LHT_TL_74002 TI KP&EJ (R2) Asemantausta, Metsä-Hen	FOG-578	2.3.2021 07:21	2.3.2021 13:51	Sekajäte	53,28003 m3	67,94291 kg/m3	3620 kg
15-94117-226078	Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy Kujalan jäteasema		LHT_TL_74002 TI KP&EJ (R2) Asemantausta, Metsä-Hen	FOG-578	2.3.2021 07:21	2.3.2021 13:50	Energia	59,48001 m3	32,616 kg/m3	1940 kg

Raportista nähdään että 2.3 FOG-578 aloitti 07:21 ja lopetti 13:51. Sekajätettä kerättiin 3.62 tonnia ja energijätettä 1.94 tonnia. Yhteensä 5.56 tonnia. Kaasua tankattiin 2.3.2021 95.68kg. Näin kulutukseksi saadaan 8.60kg biokaasua/tonni jätettä

Vertailuksi saadaan:

Diesel 7,14 litraa dieseliä/tonni jätettä

Biokaasu 1päivä 11,66kg biokaasua/tonni jätettä

Biokaasu 2päivä 8,60kg biokaasua/tonni jätettä

Vertailuna L&T Ympäristöpalvelut Oy:n kulutustietoina on heinäkuussa 2020

biokaasua 1855,1kg

jätettä 152260kg

Keskikulutus 12,18kg biokaasua/tonni jätettä

7 Nykyiset ajoneuvot

Melu ja päästömittaukset tehtiin L&T Ympäristöpalvelut Oy:n jäteautoilla (kuva 7).

Molemmat ajoneuvot olivat iältään noin vuoden vanhoja ja täyttivät uusimmat päästönormit.

Jäteautojen ajosuunnittelussa Lassila & Tikanoja ympäristöpalvelut Oyllä on käytössä Taipale Telematics Sensor-ajoneuvoseurantajärjestelmä. Järjestelmästä saadaan ajoreitin tapahtumat työvuoron ajalta. Näin myös kulutuksen seuraaminen on dieselauton kohdalla helppoa. Kaasuauton kohdalla kulutusseuranta toimii siten, että vuoroon lähdetään täyteen tankatulla autolla. Lukema saadaan tankkauksen jälkeen laskusta kaasutoimittaja Gasumilta.

Kuva 7. Mitattu dieselkäyttöinen jäteauto (Lassila & Tikanoja ympäristöpalvelut Oy)

SCANIA P 370 B6X2*4LB CP14L CP14L (FNU-205) Käytössä	
	Perustiedot
	Kuvat
	Siirrot
	Vapautukset
	Tehtävät
	Liitet
<input type="button" value="Näytä myös tyhjät kentät"/>	
Yksilöinti	
Perustiedot	
Toimittaja	<input checked="" type="checkbox"/> Scania
Vaihteisto	<input checked="" type="checkbox"/> Automaatti
Akselisto	<input checked="" type="checkbox"/> 1+2
Akseliväli	<input checked="" type="checkbox"/> 3750+1350
Vetotapa	<input checked="" type="checkbox"/> 6X2
Rengaskoko 1 akseli	<input checked="" type="checkbox"/> 315/70R22.5
Rengaskoko 2 akseli	<input checked="" type="checkbox"/> 315/70R22.5
Rengaskoko 3 akseli	<input checked="" type="checkbox"/> 355/ 50R22.5
Jousitustyyppi	<input checked="" type="checkbox"/> Ilma

Case-reitti ajettiin dieselautolla. Auto oli varustettu yksilokeroisella NTM pakkaajalla. Reitillä kerättiin sekajätettä. Polttoaineena Teboil diesel.

Biokaasuauto oli CBG tyyppiä eli polttoaineena oli paineistettu biokaasu (kuva8). Autossa on varusteluna NTM-kaksilokeroinen jätepakkaaja. Autolla kerättiin sekajätettä ja energiajätettä.

Kuva 8. Mitattu biokaasukäyttöinen jäteauto (Lassila & Tikanoja ympäristöpalvelut Oy)

SCANIA P340 B6X2*4LB CP14L (FOG-578) Käytössä	
<input type="checkbox"/> Perustiedot	<input type="checkbox"/> Kuvat
<input type="checkbox"/> Siirrot	<input type="checkbox"/> Vapautukset
<input type="checkbox"/> Tehtävät	<input type="checkbox"/> Liiteti
<input type="button" value="Näytä myös tyhjät kentät"/>	
Yksilöinti	
Perustiedot	
Toimittaja	x Scania
Vaihteisto	x Automaatti
Akselisto	x 1+2
Akseliväli	x 3950+1350
Vetotapa	x 6X2
Rengaskoko 1 akseli	x 315/70R22.5
Rengaskoko 2 akseli	x 315/70R22.5
Rengaskoko 3 akseli	x 385/55R22.5
Jousitustyyppi	x Ilma

7.1 Biokaasulla alhaisemmat CO₂-päästöt

Biokaasua voidaan valmistaa monista eri raaka-aineista. Kustannustehokkainta ja ekologisesti järkevintä on käyttää paikallista jäteveettä tai jätettä, joka mädätetään. Prosessin lopputuloksena syntyy metaania. Kaasuauton moottoria varten se paineistetaan 200 baariin. Tämän vuoksi polttoainetta kutsutaan paineistetuksi biokaasuksi (CBG). Kun se jäädytetään -163 asteeseen, syntyy nesteytettyä biokaasua (LBG). Sen energiasisältö verrattuna vastaavaan määrään dieseliä on 1:1,7. Nesteytetyllä kaasulla tyypillinen puoliperävaunuyhdistelmä kuormattuna kulkee yhdellä tankkauksella tasaisella tiellä noin 1 000 kilometriä. Paineistetulla kaasulla toimintasäde on noin 400–500 kilometriä, mikä riittää jäteautolle kaupunkijakelussa. (Scania, n.d.)

Biokaasua Lahdessa valmistaa Kujalassa sijaitseva Labio Oy. Yhtiö tuottaa vuodessa 50 Gwh verran biokaasua. Se vastaa noin 4500 – henkilöauton vuotuista kulutusta. Lahden laitos tuottaa raakakaasua, josta Gasum jalostaa biokaasua eteenpäin myytäväksi. Suomessa Gasumilla on 37 liikennekaasujakelupistettä. Pääosin nämä sijaitsevat eteläsuomessa.

7.2 Biokaasun tuottaminen

Biokaasulaitoksen raaka-aineita ovat muun muassa kotien biojätepusseja, pilaantuneet elintarvikkeet ja jätevedenpuhdistamojen liete. Biokaasun tuotantoon soveltuu puuta, paperia ja pahvia lukuun ottamatta lähes kaikki orgaaninen materiaali (kuva 9).

Tyypillisiä biokaasulaitoksen raaka-aineita ovat muun muassa:

Kotitalouksien biojätteet

Eläintilojen lannat

Peltoviljelyn hävikkirehut

Kauppojen pilaantuneet ruokaerät

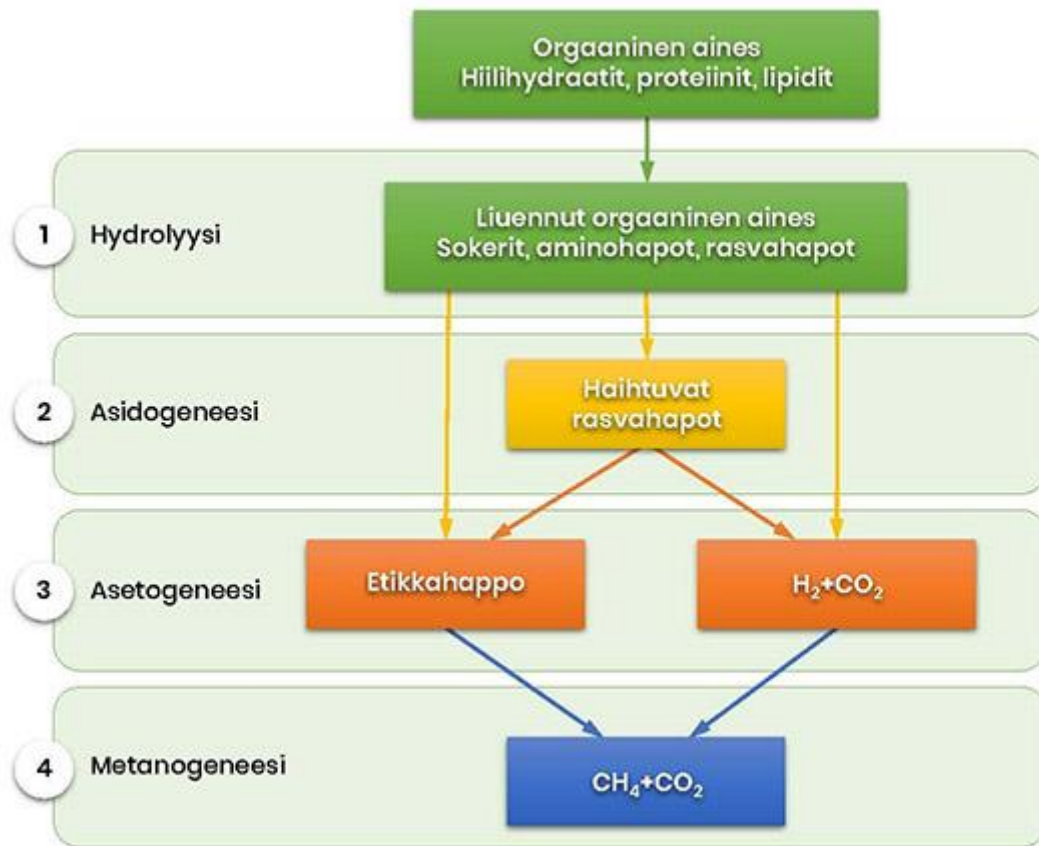
Jätevedenpuhdistamojen lietteet

Kalanperkuujätteet

Teurastamon jätteet

Sellu- ja paperiteollisuuden sivuvirrat

Kuva 9. Anaerobisen metaanituotto-prosessin vaiheet (Biovoima)



7.3 Biokaasun ympäristövaikutukset

Biokaasun käytöllä polttoaineena on kiistattoman positiiviset ympäristövaikutukset. Se on 100 % uusiutuva ja siten hiilineutraali polttoaine. Sen poltosta ei synny lainkaan hiukkaspäästöjä eikä se sisällä rikkiä tai raskasmetalleja. Yksi kuutio metaania vastaa energiasisällöltään yhtä litraa dieselöljyä. Sen tuottamiseen tarvitaan noin 7-8 kg biojätettä.

Auton polttoaineena puhdistettu biokaasu voi vähentää elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä jopa 85-95 % fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Tämä luku huomioi polttoaineen koko elinkaaren raaka-aineiden keräyksestä, tuotannosta ja jakelusta aina käyttöön asti. Biokaasulaitoksella jätteestä tuotetaan uusiutuvaa energiaa hallituissa olosuhteissa. Kaatopaikalla orgaanisten jätteiden metaanipäästöt lämmittäisivät ilmakehää. Metaani on 25 kertaa hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuonekaasu. Maailmanlaajuisesti kaatopaikat ovat yksi suurimmista yksittäisistä kasvihuonekaasujen lähteistä. (Biovoima, n.d.)

7.4 Biokaasu on metaania

Biokaasua syntyy, kun orgaaninen jäte mätänee hapettomassa, anaerobisissa olosuhteissa. Biokaasulaitoksilla se tuotetaan hallitusti ja tehokkaasti orgaanisista jätevirroista, jotka jäisivät usein hyödyntämättä. Mikrobit syövät biomassaa pilkkoen proteiinin, rasvojen ja sokerien hiiliketjuja. Orgaaninen massa hajoaa ja muuttuu mikrobien toimesta biokaasuksi noin kuudessa viikossa. Mikrobien toiminnasta syntyy: Biokaasu = 50-70 % CH₄ (metaani) + 25-30 % CO₂ (hiilidioksidi).

Biokaasussa metaanipitoisuus vaihtelee yleensä 50-70 % välillä. Loput kaasuseoksesta on hiilidioksidia ja syötemateriaalista riippuen pieniä määriä vettä, typpeä, happea ja erilaisia epäpuhtauksia. Biometaanilla puolestaan tarkoitetaan biokaasua, josta on poistettu suurin osa muista kaasuista kuin metaanista. Tällaisen kaasun metaanipitoisuus on tyypillisesti 95-99 % metaania, lopun ollessa käytännössä hiilidioksidia. Mahdolliset moottoria pitkässä juoksussa vaurioittavat epäpuhtaudet on poistettu ennen kaasun jalostusta. Lisäksi biometaani hajustetaan aina ennen sen käyttöä, jotta mahdolliset pienetkin vuodot on helppo havaita.

Metaanilla on bensiiniä ja dieseliä parempi lämpöarvo koska metaanilla on parempi hiili/vetysuhde ja vedyllä on parempi lämpöarvo kuin hiilellä. Bensiinin ja dieselin hiili/vetysuhde on 86C/14H ja metaanin 75C/25H. (Reif, Dietsche, 2014)

Myös ominaishiilidioksidipäästö on metaanilla pienempi, koska vedyn palamisreaktiossa syntyy palamistuotteena vettä. (Köhler, Allgeier, 2006)

8 Sähköinen vaihtoehto

Jätehuollossa sähköistäminen tuo mukanaan lukuisia etuja. Tärkeimpinä varmasti hiljaisuus sekä käytönaikainen päästöttömyys. Sähköllä on hyvä energiatehokkuus. Kaupungissa rajoituksia luo melun syntyminen. Tämä korostuu juuri kapeissa katukuiluissa ja kerrostalojen piholla missä jäteajoneuvo liikkuu. Hiljainen jäteauto voi tulevaisuudessa liikkua ehkä nykyistä vaihtelevampina vuorokaudenaikoina. Jätehuollon ymmärtäminen kokonaisuutena, uudelleenreititys tarvittaessa sekä aikataulut. Näihin kaikkiin voidaan saada parannuksia logistisen infran joustavuudella, jota laajemmat toiminta-ajat voivat suoda.

Haittoina sähköiselle jätelogistiikalle ovat varmasti akkujen lataustarve ja kesto(kuva 10). Nykyisellään autot vaativat ainakin työvuorojen välissä pikalatauksen pystyäkseen toimimaan kahdessa vuorossa. Akkutekniikan nopea kehittyminen on tuonut jo lukuisia ratkaisuja. Suurimpana ongelmana on erikoismetallien kalleus ja vaikea saatavuus. Nämä näkyvät suoraan akkujen korkeana hintana.

Kuva 10. Sähköinen jäteauto (Volvo)

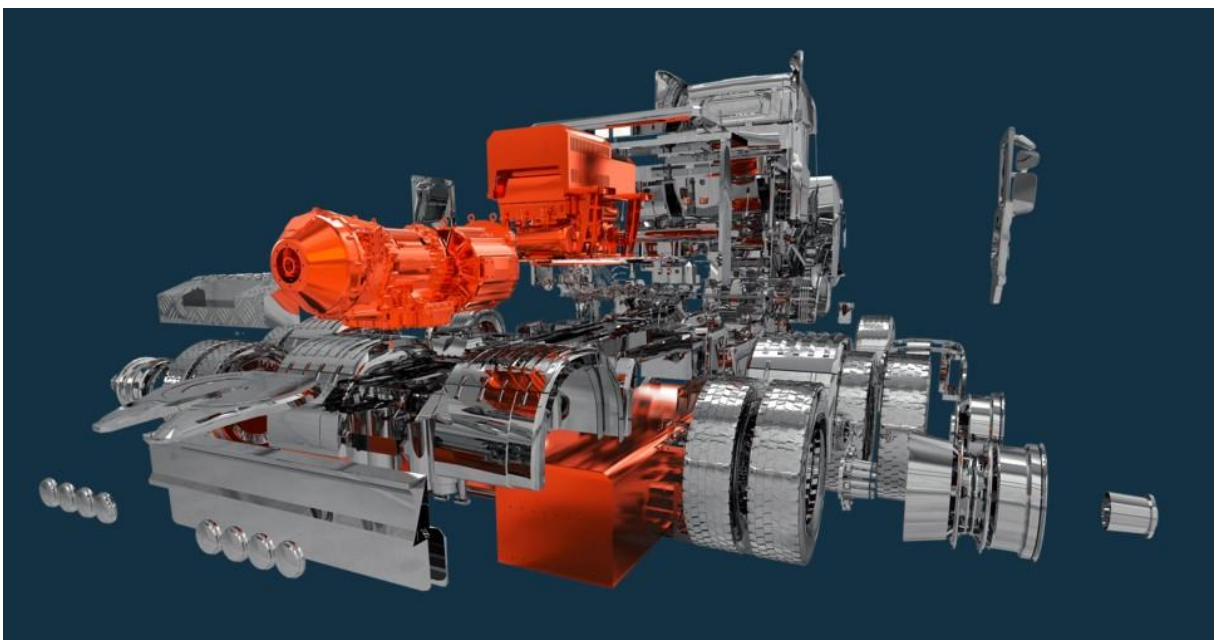


”Kun prosessi ymmärretään riittävän tarkasti, voidaan miettiä soveltuvan latausinfraan ja toimintatavan rakentamista. Auto voi esimerkiksi lähteä aamulla täydellä akulla liikkeelle, käydä aamupäivällä jäteasemalla pikalatauksessa ja lähteä sitten keskipäivä- tai iltavuoroon. Jotta toiminnasta saadaan sujuvaa, pitää ymmärtää toimintamalli, mitkä keräysalueet käydään ja valita käyttötapaukseen soveltuvaa kalustoa. Tätä kautta päästään kiinni myös sähköistyksen kannattavuustekijöihin ja latauskenttien synergioihin muiden raskaan kaluston käyttäjien kanssa”, VTT:n johtava tutkija Mikko Pihlatie (Teknologiateollisuus, 2021).

Sähköinen jäteauto rakennetaan sähkökäyttöisen kuorma-auton alustalle. Tällä hetkellä alustoja on jo usealla valmistajia. Euroopassa sähköisiä kuorma-autoja tekevät mm. Scania, Volvo, Mercedes Benz, MAN ja DAF. Suomessa jo rakenteilla oleva HSY:n ja VTT:n yhteishanke valmistaa sähköisen jäteauton Scania-alustalle. Kuorma-auton alustan muuttaa dieselistä sähkökäyttöiseksi hollantilainen Emoss (kuva 11). Auto varustellaan Närpiöläisen NTM:n yksilokeroisella pakkaajalla.

Jäteauto on valmistuessaan 100% sähkökäyttöinen. Tämä tarkoittaa sitä, että auto liikkuu, tyhjentää astiat ja pakkaa jätteet täysin sähköisesti. Auto perustuu samantyyppiselle alustalle, kuin jo käytössäkin olevat jäteautot ja on siis mitoiltaan vastaava. Sähköjäteauto sopii toimimaan ahtaissa kaupunkiolosuhteissa, kuten polttomoottorikäyttöinen jäteautokin.

Kuva 11. Kuorma-auto alustan sähköistäminen. (Emoss).



Rakenteellisesti sähköinen jäteauto eroaa perinteisestä jäteautosta moottorin ja akuston osalta. Diesel-/kaasukäyttöisessä jäteautossa moottori liikuttaa ajoneuvoa vaihteiston välityksellä sekä käyttää hydraulipumppua voimanoton välityksellä. Lisäksi tarvitaan polttoainesäiliöt. Diesel nestemäisenä tai biokaasu/maakaasu paineistettuna. Rekka-autossa kaasu voi olla myös nestemäisenä, mutta rakenne on raskas ja tilaa vievä, eikä sovellu pieneen jätekuorma-autoon.

Sähköisessä alustassa on ajomoottori ja akusto. Lisäksi tarvitaan erillinen moottori, jolla käytetään hydrauliiikkaa. Laajan kierrosluku- ja vääntöalueen vuoksi sähkökäyttöisessä jäteautossa riittää kaksivaihteinen vaihteisto, joka on kooltaan pienempi ja kevyempi kuin perinteinen. Jätepakkaaja toimii hydraulisesti, sähköventtiilein ohjattuna. Sähköalustaisessa jäteautossa pitää hydrauliiikka tuottaa erillisen sähkömoottorin pyörittämän pumpun avulla. Hydrauliiikka voidaan korvata myös osin tai kokonaan sähkömekaanisilla työsylintereillä.

Nykyisten sähkökuorma-autoalustojen akustojen kapasiteetti riittää olosuhteista riippuen ylimmillään noin kahdensadan kilometrin matkaan. Jäteautossa kuitenkin merkittävä osuus kulutuksesta tulee auton ollessa pysähdyksissä, pakkaajan jatkaessa toimintaansa. Case-reittimme oli pituudeltaan 54 kilometriä, mutta pysähdyksiä oli 111. Onkin tärkeää luoda infra niin, että vuorojen välissä auto voidaan ladata, riittävän varauksen saavuttamiseksi iltavuorolle. Nykyisillä pikalatauksilla voidaan akuston varausta nostaa lyhyessäkin ajassa 80% tasolle. Öisin auto saa täyslatauksen.

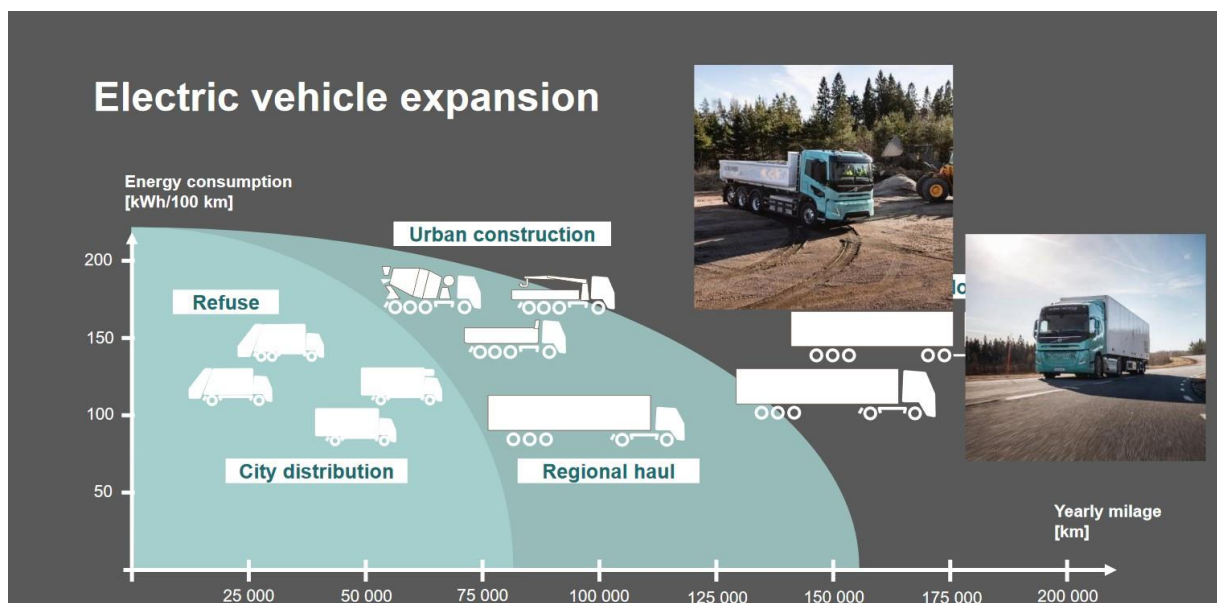
”Nyt jätepakkaaja ja jätensäiliön nostaminen, kippaaminen ja puristaminen toimivat dieselmoottorin avulla ja myös auto on käynnissä koko ajan. Siitä tulee sekä melua että päästöjä. Uudessa mallissa on sähköauton erinomaisen energiatehokkuuden edut ja eri sähkömoottoreita käytetään vain kun niitä tarvitaan. Kun auto pysähtyy, akusta saadaan käyttövoima kipille ja puristimille”, kaavailee VTT:n johtava tutkija Mikko Pihlatie.

"Jäteautot ovat kaupunkien hyötyliikenteessä potentiaalinen sähköistyskohde, samaan tapaan kuin joukkoliikenne. Palveluntarjoajat toimivat kaupallisesti ja rajallisella tai määritellyllä alueella. Tyypillisesti autoilla ajetaan melko paljon, kotien vieressä ja erikoisiin aikoihin."

HSY:n hankepäällikkö Aino Kainulainen kertoo, että täyssähköistä jäteautoa kokeillaan Helsingissä kevästä 2021 alkaen. Tavoitteena on vähentää sekä melua että hiukkaspäästöjä, jotka heikentävät ilmanlaatua erityisesti kantakaupungin kapeiden katujen alueilla. (Teknologiateollisuus, 2021)

Suomessa liikennöi seitsemän sähköistä kuorma-autoa. Jätehuollossa ei vielä yhtäkään. Kokemuksia ei siis ole käytöstä, eikä valmista sähköjäteautoa voi vielä ostaa. Näin kaikki tiedot perustuvat yksittäiskappaleisiin, jotka ovat kokeiluajossa. Pohjoismaissa sähköisiä jäteautoja on liikenteessä ainakin Göteborgissa ja Kööpenhaminassa (kuva 12).

Kuva 12. Sähkökuorma-auton toimintakapasiteetti (Volvo)



Kansainvälisiä esimerkkejä ja kokemuksia täyssähköisistä, pohjoisen oloihin soveltuvasta jäteautoista on suhteellisen niukasti. Sähköllä toimivan jäteauton hintaakin on vielä vaikea sanoa. Vertailukohtana vaikkapa sähköbussin hinta on noin kaksinkertainen tavalliseen bussiin verrattuna.

Kaupunkien hyötyliikenteen, kuten joukkoliikenteen ja jätehuollon, uudistamisessa on suuri mahdollisuus lisätä sähköistä liikennettä kaupunkialueilla. Sähköistämällä suuria, kaupungissa liikkuvia ajoneuvoja ja niiden toimintoja voidaan vähentää melua ja liikenteen aiheuttamia päästöjä merkittävästi. Samalla on mahdollisuus miettiä jätehuollon prosessien uudistamista ja vaikkapa siirtää hyötyliikennettä kaduilta ruuhka-ajoilta yöhön tai varhaiseen aamuun. Sähköisen infran rakentaminen kaikkia hyötyajoneuvoja koskevaksi olisi varmasti merkittävä edistysaskel myös sähköiselle jäteautolle.

9 Melu ja ääni

Melu on häiritsevää, useasta eri lähteestä tulevaa ääntä. Suuri osa suomalaisista joutuu altistumaan melulle päivittäin. Melu vaikuttaa terveyteen heikentävästi ja vähentää asumismukavuutta. Asumisalueilla suurin melunlähde on liikenne.

Melun kuuloon kohdistuvien terveydellisten vaikutusten rajana pidetään 80dB:n äänenpainetasoa. Tällä rajalla herkimvät yksilöt ovat alttiita saamaan kuulovaurion. Käytännössä tämä desibeliraja on saavutettu, jos normaalia puhetta ei kuule metrin etäisyydeltä. (Starck, Teräsvirta, Melu, s.11)

9.1 EU:n ympäristömeludirektiivi

EU:n ympäristömeludirektiivi (2002/49/EY) määrittelee ympäristömelun raportointirajoiksi:

Lden 55 dB päivä-, ilta ja yöajalle.

Lnight 50 dB yöajalle.

Lden tarkoittaa koko vuorokauden keskiäänitasoa, jossa ilta-ajan (klo 19–22) keskiäänitasoa painotetaan +5 dB ja yöajan (klo 22–07) melutasoa +10 dB melun häiritsevyyden kuvaamiseksi. (Eur-Lex, n.d.)

Lnight tarkoittaa yöajan keskiäänitasoa ja vastaa suomalaisessa lainsäädännössä käytettyä yöajan keskiäänitasoa LAeq 22–07. (Eur-Lex, n.d.)

Asumiseen käytettävillä alueilla, virkistysalueilla taajamissa ja taajamien välittömässä läheisyydessä sekä hoito- tai oppilaitoksia palvelevilla alueilla on ohjeena, että melutaso ei saa ylittää ulkona melun A-painotetun ekvivalenttitason (LAeq) päiväohjearvoa (klo 7-22) 55 dB eikä yöohjearvoa (klo 22-7) 50 dB. Uusilla alueilla on melutason yöohjearvo kuitenkin 45 dB. Oppilaitoksia palvelevilla alueilla ei kuitenkaan sovelleta yöohjearvoja. (Finlex, 1992)

Meluhaitat ilmenevät muun muassa unihäiriöinä, keskittymisen ja oppimisen vaikeutumisenä sekä sydämen ja verenkiertoelimistön toimintahäiriöinä. Yksittäiseen ihmiseen kohdistuvia terveysvaikutuksia ei ole mahdollista arvioida melupäästöön tai melutasoon liittyvien tietojen perusteella.

9.2 Ääniaallot ja taajuus

Ääneksi nimitetään jokaista kuuloalueella (n.16 - 20000 Hz) tapahtuvaa jaksollista värähdysliikettä. Ainoastaan yhtä taajuutta sisältävää ääntä kutsutaan äänekseksi. Pelkästään yhtä taajuutta sisältävää värähtelyä esiintyy harvoin. Käytännössä kaikki äänet koostuvat useista eri taajuuksista.

Värähtelemään saatu kappale aiheuttaa esimerkiksi ilmassa paineenvaihtelua eli pienten hiukkasten tihentymiä ja harventumia. Äänen voimakkuuteen vaikuttaa paineenvaihtelu. Äänenvoimakkuus kasvaa paineenvaihtelun kasvamisen myötä. Paineenvaihtelun myötä aiheutuneen ilmahiukkasten tiheytyminen nostaa äänentaajuutta korkeammalle. (Koivumäki, s.9)

Taajuuden mittayksikkö on hertsi (Hz). Kappale, joka värähtelee nopeammin kuin 20 kertaa sekunnissa, on ihmisen kuuloalueella. Jos värähtelyn taajuus on yli 20000 Hz, ihmisen kuuloalue ei pysy enää mukana. Kuuloalueen yli menevät taajuudet ovat jo ultraääniä, joita käytetään esimerkiksi lääketieteessä. Taajuusalue, minkä ihminen parhaiten kuulee, on 2000 - 4000 Hz. (Koivumäki s.10)

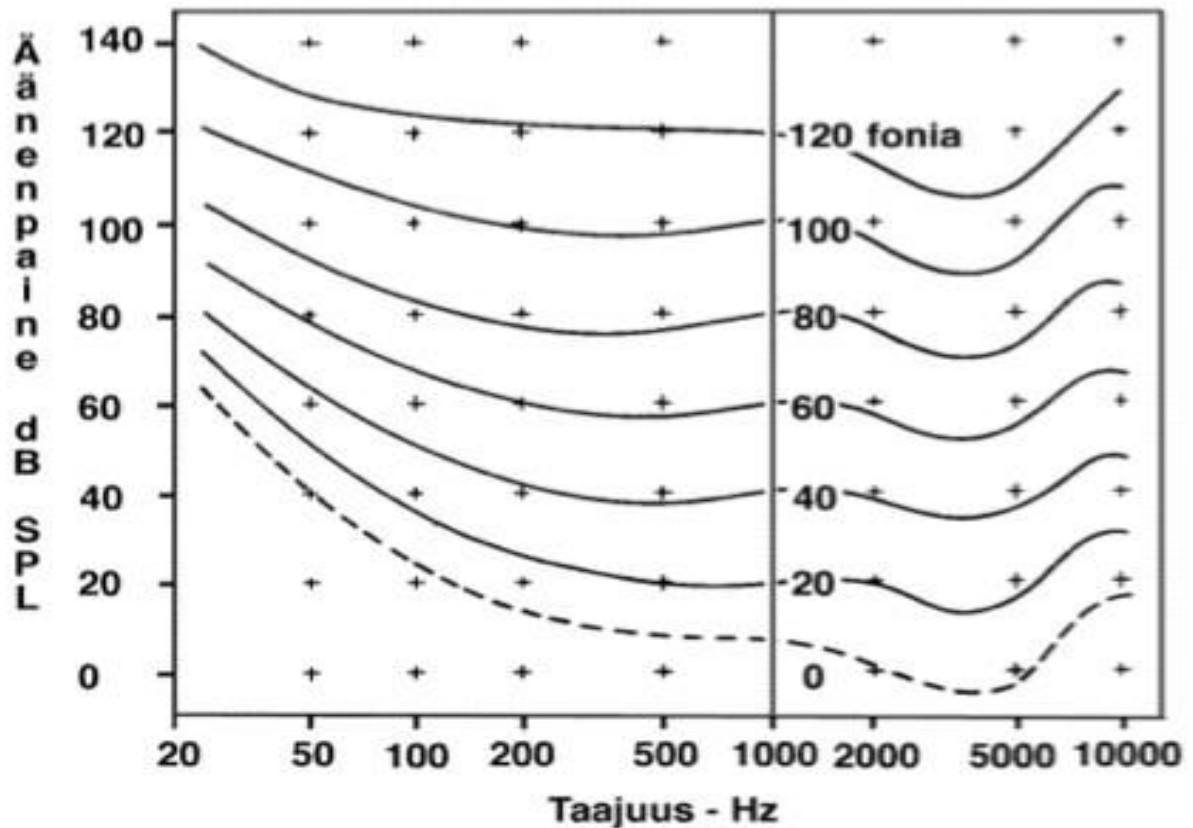
Ihmisen puheen selkeyden kannalta tärkein taajuusalue on 2 - 8 kHz. Kyseistä taajuuskaistaa kutsutaan preesensalueeksi. Ääni etenee ilmassa noin 340 m/s. Paineenvaihtelun aiheuttama etenemisliike ilmahiukkasissa ei ole kuitenkaan yhtä nopeaa. Ilmamolekyylit värähtelevät paikoillaan eivätkä kulje ääniaallon mukana. Kappaleen lähettämä värähtely ei saavu korvan tärykalvolle samanlaisena kuin se on lähtiessään liikkeelle, koska ääniaalto muuttuu edetessään. Matalat äänet kuuluvat kauas, ja korkeat äänet, joilla on lyhyt aallonpituus, vaimentuvat esteisiin helpommin. (Koivumäki , 1993, s.9-10)

Äänenpainetta kuvaamaan on luotu logaritminen desibeliasteikko, jossa alhaisin kuultava äänenpaineen taso eli kuulokynnys on 0 dB ja kipurajan arvo on n. 120 dB. Näin mittarilla melua mitattaessa voidaan saada myös negatiivisia dB-arvoja. Nämä ovat kuuloalueen ulkopuolella. Äänenpaine kipurajalla on miljoona kertaa suurempi kuin kuulokynnyksen äänenpaine.

Desibeli suureena on haasteellinen. Esimerkiksi liikennemäärän kaksinkertaistuessa melun taso desibeleinä ei kaksinkertaistu, vaan nousee silloin kolmella desibelillä. Etäisyyden kaksinkertaistuminen puolestaan pienentää melutasoa melulähteestä riippuen 3-6 dB:llä. (Starck, Teräsvirta, Melu, s.13)

Se miten ihminen äänen kuulee, riippuu äänen korkeudesta eli taajuudesta. Vakioäänekkyyssäyrästä (Kuva 13), näkee, miten eri taajuudet koetaan eri voimakkuuksilla.

Kuva 13. Fletcher-Munson vakioäänekkyyskäyrästä



Kukin käyrä osoittaa eri taajuuksien kohdalla tarvittavan äänenpainetaso saman äänekkyystason (kuuluvuustason) LN saavuttamiseksi. Äänekkyystaso ja äänenpainetaso yhtyvät 1000 Hz:n kohdalla. Äänekkyystason yksikkö on foni. Käyristä havaitaan myös, että korva on herkimmillään 3-4 kHz taajuusalueella ja kuulee selkeästi huonommin matalia taajuuksia.

Matalat taajuudet ja aivan korkeimmat taajuudet korva aistii keskialueita vaimeampina. Kun korvan kannalta verrataan äänen intensiteettiä eri taajuuksilla, saadaan seuraavia tuloksia: 120 dB SPL 1 kHz:n taajuudella aistitaan yhtä voimakkaana kuin 130 dB SPL 45 Hz:n, 105 dB SPL 3 500 Hz:n ja 130 dB SPL 9 500 Hz:n taajuuksilla. Tähän kuulon epäherkkyyteen matalilla ja korkeilla taajuuksilla perustuu esimerkiksi hifivahvistinten loudness korjaus. (Ruippo, 2010)

9.3 Melun mittaaminen

Melun mittaamiseen tarvitaan äänitasomittari ja mittarin kalibrointilaite.

Ympäristöministeriö on asettanut ympäristömelun mittaamiselle ohjeen, jota tässäkin opinnäytetyössä noudatettiin.

”Mittauslaitteiston tulee olla tarkoitettu keskiäänitason määrittämiseen joko suoraan tai epäsuorasti. Mittauslaitteiston tulee täyttää SFS 2877/IEC 651 vaatimukset äänitasomittareille, mieluiten tarkkuusluokalle 1. Integroivan äänitasomittarin tulee kuulua standardin IEC 8004 vastaaviin tarkkuusluokkiin.”

”Mittauslaitteiden toiminta tulee tarkistaa ja tehdä tarvittavat säädöt käyttäen ulkoista kalibrointiäänilähdettä. Kalibrointiäänilähteen tulee täyttää vähintään standardin IEC 942 luokan 2 vaatimukset.” (Ympäristöministeriö, 1995)

Mittaukset suoritettiin Hämeen ammattikorkeakoulun Rion NL-52 äänitasomittarilla (kuva 14). Mittari täyttää SFS 2877 / IEC 651 tarkkuusluokan 1 vaatimukset. Integroiva äänitasomittari kuuluu standardin IEC 804 vastaaviin tarkkuusluokkiin. Ohjeistuksen mittarin käyttöön antoi HAMK, yliopettaja Jukka Varrio.

Kuva 14. Mittauskalusto



Rion NL-52 äänitasomittari jalustalla, autossa "mittaus"-kyltti tuulilasilla ja varoitusmajakka.

Mittari kalibroitii ennen mittauksia ja mittausten jälkeen Lahden kaupungilta käyttöön saadulla Larson Davis kalibrointilaitteella (kuva 15). Laite täyttää IEC 942 luokan 1 vaatimukset. Laite kalibroitu 14.07.2020. Kalibrointilaitteen kalibrointitodistuksen kopio liitteenä. Ohjeistuksen kalibrointiin antoi Lahden kaupungin ympäristötarkastaja Hanna Seisto.

Kuva 15. Larson Davis äänimittarin kalibrointilaite



Tuulen nopeuden (alueella 2 m/s – 10 m/s) mittaukseen käytetään laitteita, joilla saavutetaan alle 1 m/s epävarmuus. Tuulen suunnan mittauksen epävarmuuden tulee olla alle 10°. Lämpötilan mittauksen epävarmuuden tulee olla alle 1 °C. Suhteellisen kosteuden mittauksen epävarmuuden tulee olla alle 2 %.(Eurasto, 2007)

Tutkimuksessa mitattiin jäteauton aiheuttamaa melua jäteastian keräilypaikalla. Mittausajankohdat valikoituivat sään perusteella. Ensimmäinen mittarivaihtoehto joka hankittiin rajasi toiminta alueen >+0°C. Onnistuneet melumittaukset saatiinkin helmikuun

lopussa. 25.02.2021 dieselkäyttöisen jäteauton kanssa Case-reitillä. Lisäksi mittasin CBG jäteautoa 1. ja 2. maaliskuuta. Ensimmäisenä päivänä oli +2°C ja tuuli 3m/s länsi-lounaasta, 1.3 hieman lämpimämpää auringon vuoksi. 2.3 mittasin vielä taustamelut. Tämän tein viidessä kohtaa keskustan alueella (kuva 16).

Kuva 16. Taustamelun mittauspisteet Lahden keskustassa (Lahden kaupunki)



Melunmittaustehtävä osoittautui haastavaksi, koska mittaukset tehtiin keräilyn keskeytymättä, jäteautoa seuraten (kuva 17). Mittaukset pyrittiin suorittamaan noin viiden metrin etäisyydeltä jäteauton keskipisteestä takaviistosta. Mittauspaikka valikoitui joskus tilan perusteella, sillä keräilypaikat olivat toisinaan ahtaita.

Kuva 17. Jätesäiliön tyhjennys rivitalon pihalla



9.4 Mittausten käsittely

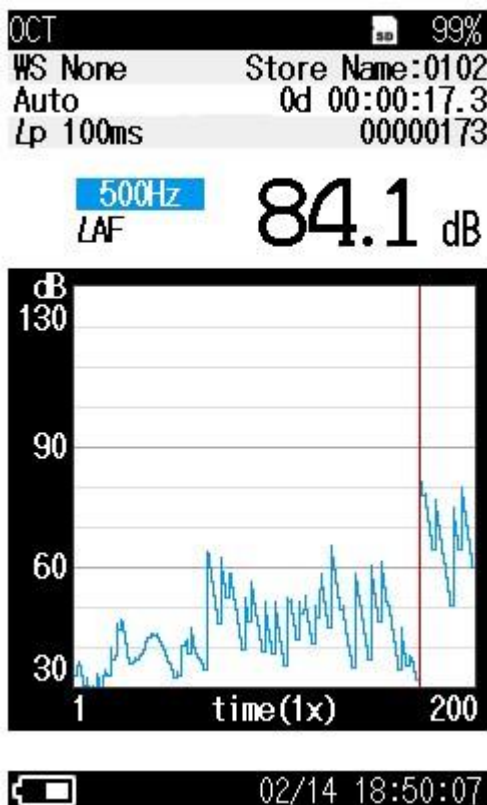
Äänimittauksia tehtiin kaikkiaan 82 kohteessa. Mittausasetukset olivat seuraavat:

Päämittaus: A-painotus, fast. Mittausaika 100 ms/näyte. Ei tuulikompensaatiota. Tuulisuoja päällä. Mittauskorkeus 1.5m. Mittausetäisyys noin 5 metriä. Subkanava: C-painotus, slow. Yhden sekunnin keskiäänitaso.

Mittaukset taltioitiin äänentasomittarilla SD-kortille. Kortti voidaan lukea joko suoraan mittarista tai välilyhdolla tietokoneeseen. Helpointa on kuitenkin laittaa kortti tietokoneeseen. Mittaukset tallentuvat CSV-teksti tiedostoiksi, jotka avautuivat Exceliin taulukoksi. Erillistä mittausten käsittelyohjelmaa ei siis tarvita.

Koska mittauksissa käytettiin mittarin äänispektriominaisuutta, saatiin jokaisesta mittauksesta aikaan kahdenlaiset tiedostot. Toisessa saadaan mittauksesta äänenvoimakkuuksien keskiarvot eri painotuksin sekä eri taajuuksilta (kuva 18). Kaikki mittaukset tehtiin ns. terssi- eli 1/3 oktaavi mittauksina, jossa mitta-alue 12,5 Hz – 20000 Hz on jaettuna 33 taajuuskaistalla.

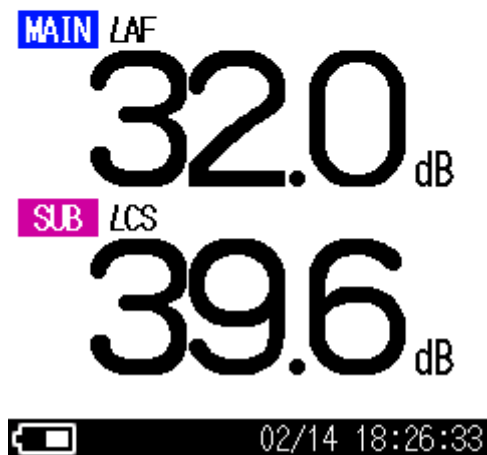
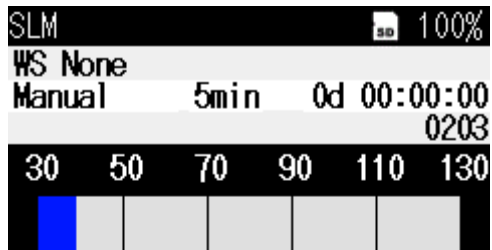
Kuva 18. Mittarin näyttö 500 Hz taajuuskaistalla



Taajuusjakauma kertoo mittaushetken melusta, minkä korkuisista äänistä melu koostuu. Tätä voidaan kuvata viivadiagrammilla. Mittari taltioi mittauksessa voimakkuusarvoja eri taajuuksilta 100 ms (0.1s) välein. Mittarin tallentamasta näyttökuvasta ilmenee näytteen nro. 102 ajankohdan 17,3s taajuudella 500Hz, äänentason olevan 84.1 dB painotuksella A,

fast. Mittari asetettiin tallentamaan myös SUB-kanavalla C-painotusta, asetuksella slow (kuva 19).

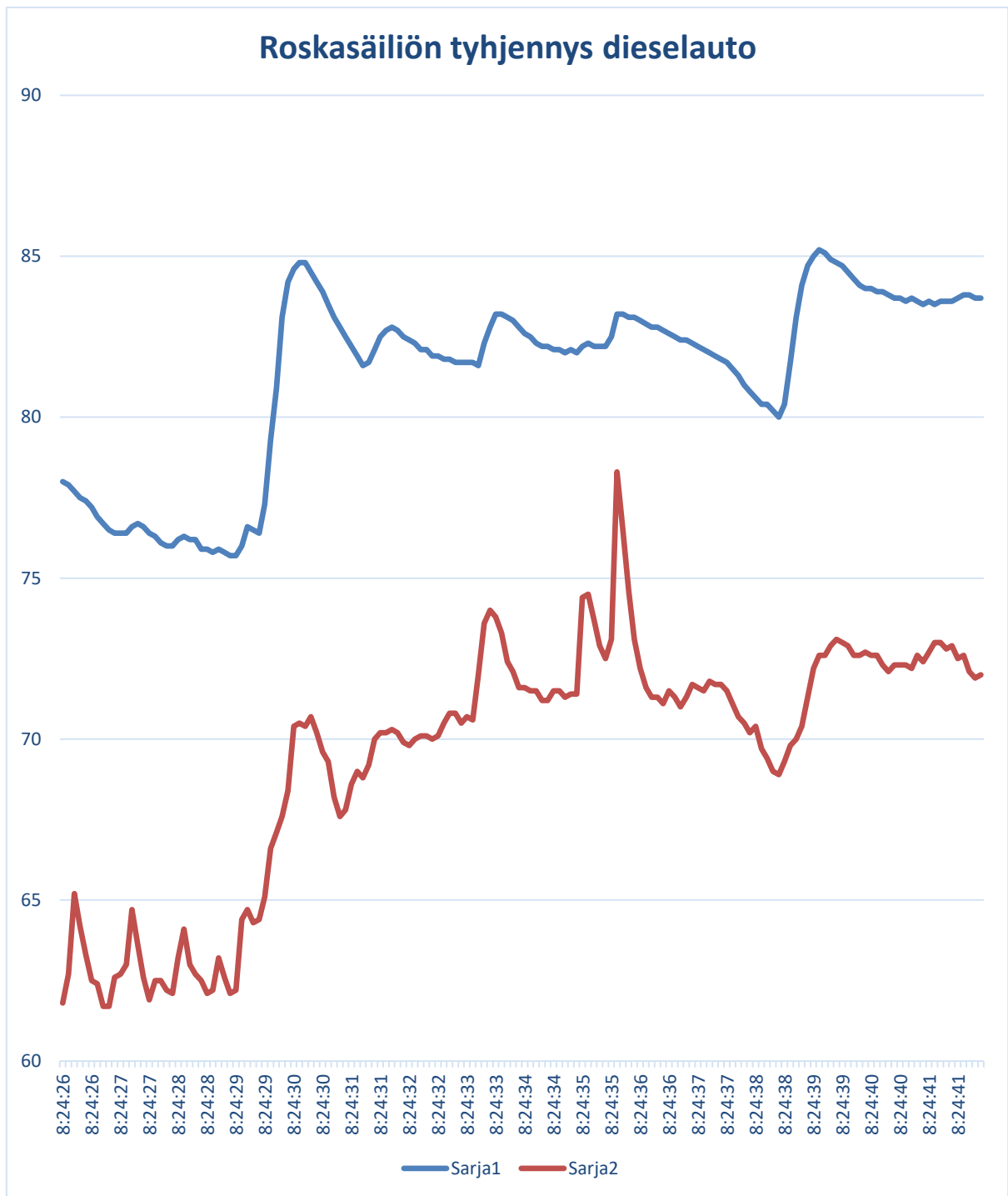
Kuva 19. Äänitasomittarin näytössä main ja sub valinnat



9.5 Aikajakauma

Aikajakaumassa voidaan tutkia, miten äänen taso muuttuu mittauksen aikana (kuva 20). Tästä voidaan huomata vaikkapa jäteauton moottorin kierrosluvun nousu pakkauksen alkaessa ajalla 08:24:29. Sarja 2 painotus A fast, sarja 1 painotus C slow.

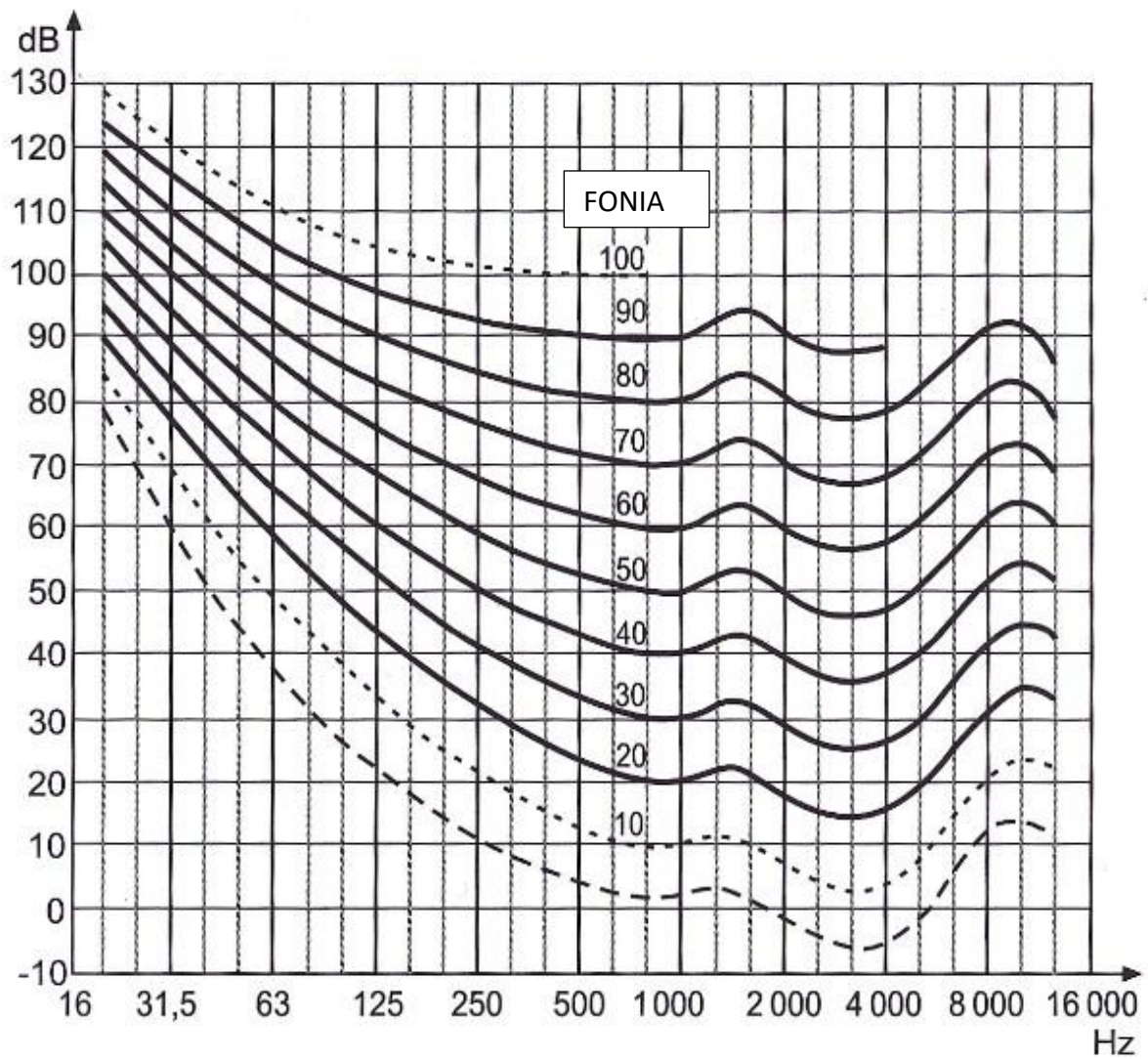
Kuva 20. Roskasäiliön tyhjennys



9.6 Painotukset

Äänet tallennettiin kahdella painotuksella. Ihmisen normaalikuuloa vastaavalla A-painotuksella, jota käytetään yleisesti melumittauksissa (kuva 21). Mittarissa oli myös mahdollisuus asettaa SUB-alikanava, jolla tallennettiin sama mittaus C-painotuksella, jossa painotetaan kovia äänenvoimakkuuksia.

Kuva 21. Ihmiskorvan herkkyys taajuuksille

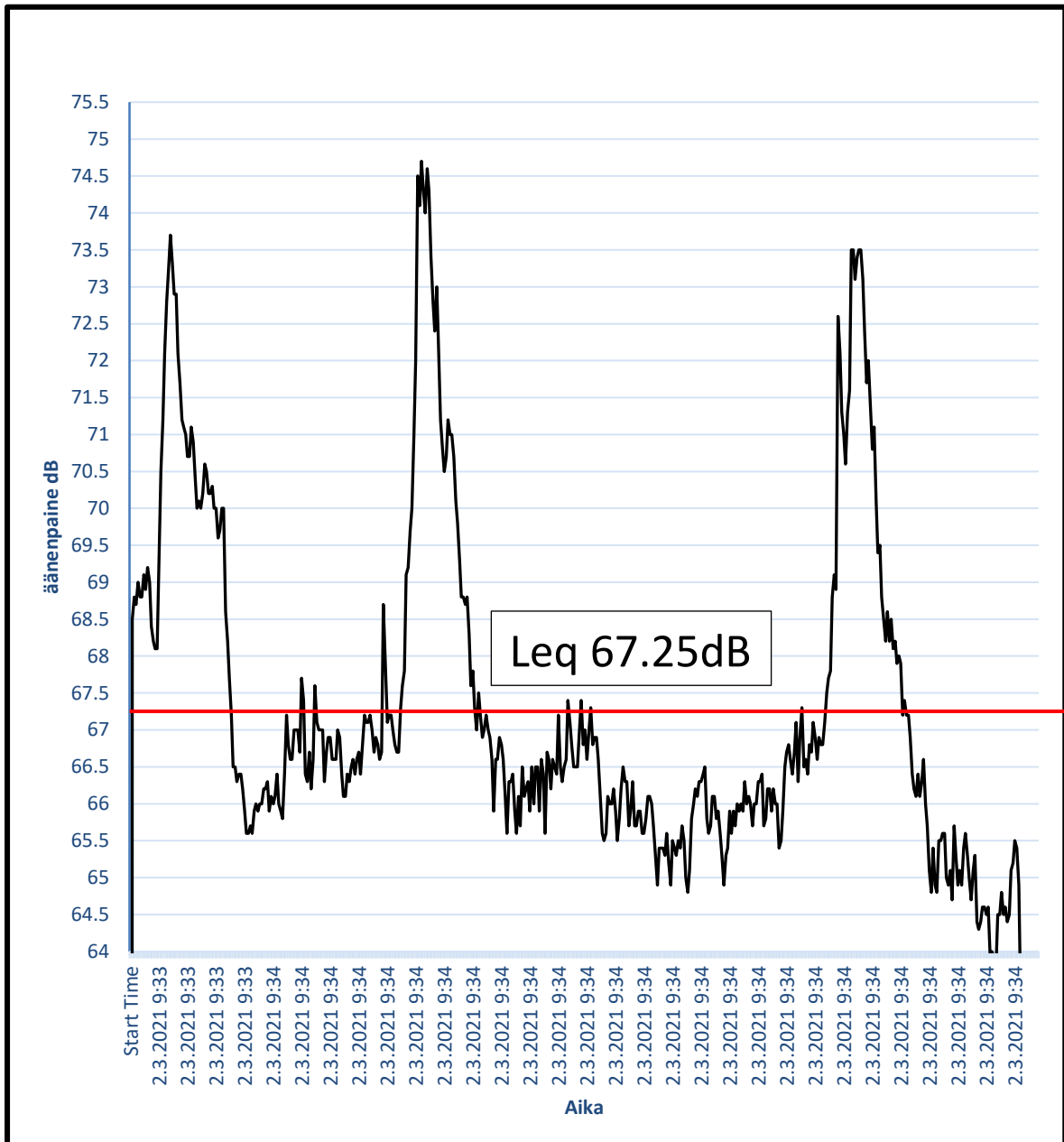


Painotussuotimien perusteena on vakioäänekkyyskäyrät. Alkuperäinen ajatus oli käyttää eri painotussuotimia tilanteissa, jossa tutkittava äänenvoimakkuus on eri. Eli A-painotuksen suunniteltiin vastaavan korvan herkkyyttä hiljaisilla voimakkuuksilla, B-painotuksen keskivoimakkailla ja C-painotuksen kovilla, noin 100 fonin voimakkuuksilla (Laaksonen,2006, s. 30; Lahti,1995,s. 24).

9.7 Ekvivalenttitaso Leq

Äänenpainetason vaihdellessa mitataan hetkellisen arvon sijasta niin sanottu äänen ekvivalenttitaso (Leq). Tällä tarkoitetaan samanarvoista jatkuvaa äänitasa kuin vastaavan äänienergian omaava vaihteleva äänitaso (kuva 22).

Kuva 22. Ajan funktiona vaihtelevan äänenpainetason ekvivalenttitaso



10 Tulokset melusta

10.1 Äänimittaukset

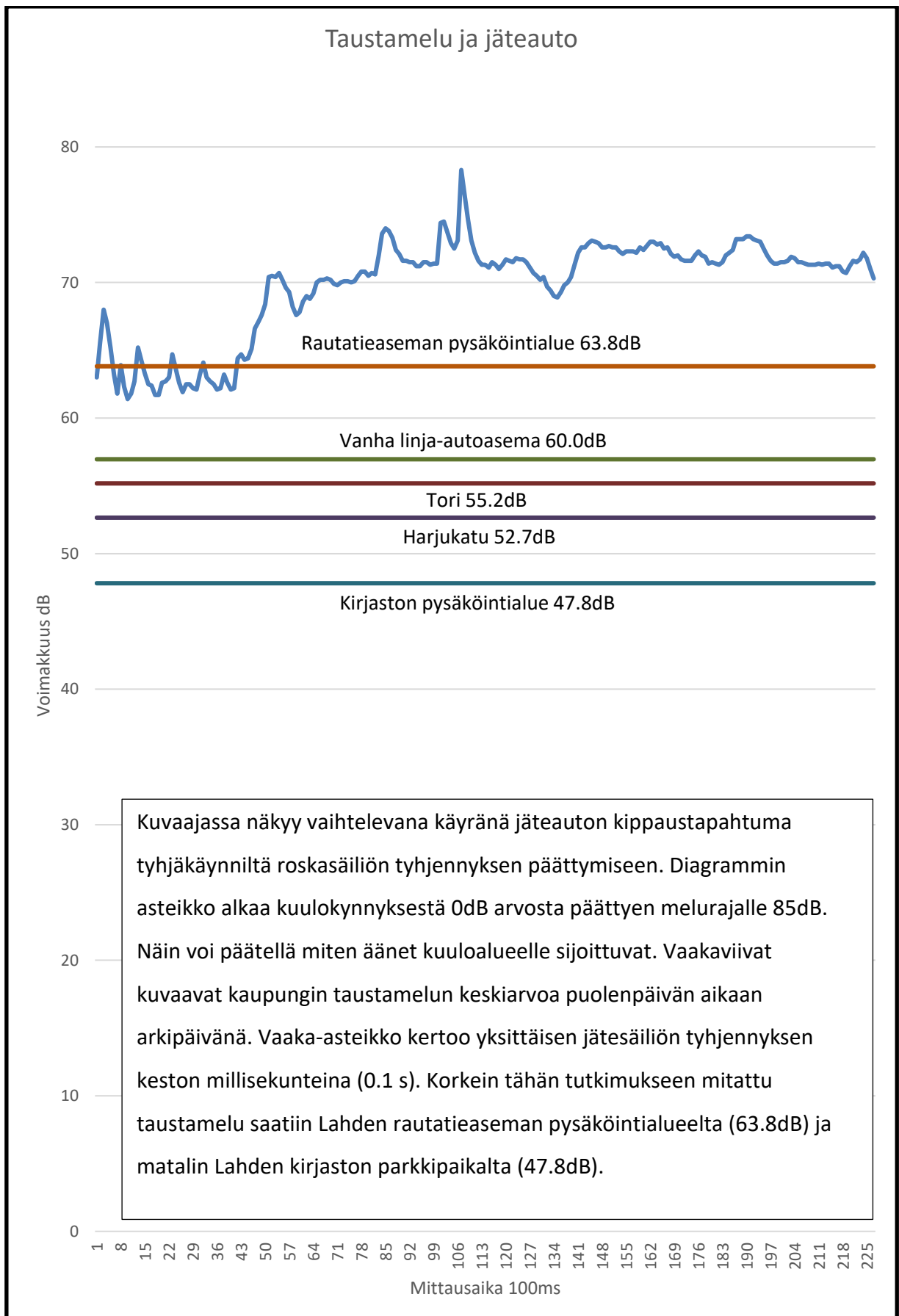
Opinnäytetyössä oli tarkoituksena tutkia sähköisen jäteauton mahdollisuuksia kaupungin jätehuollossa. Työssä tutkittiin jäteauton aiheuttamaa melua sekä päästöjä. Kaikki mittaukset tehtiin varsinaisessa työtilanteessa turvallisuussäännöt huomioiden. Mittaajalla oli näkyvyyden parantamiseksi huomioliivi. Liikkumiseen käytetty henkilöauto oli varustettu majakkamallisella varoitusvilkulla sekä varoituskytillä. Yhteys jäteauton kuljettajaan tapahtui tarvittaessa ajon aikana puhelimitse.

Mittausdataa saatiin paljon. Kolmena päivänä taltioitiin yhteensä 82. Jokaisesta mittaustapahtumasta tallentui kaksi CSV-tiedostoa. Leq-tiedostossa on Main, Sub, Leq, LE, Lmax, Lmin sekä LN01-LN05, Nämä yksitoista keskiarvoa 33 taajuuskaistalta. Lisäksi vielä Ly, Ly2 sekä LCEq-LAEq tieto. Mittausväli oli 100 ms eli 0.1 sekuntia. Leq tiedostoon kirjautuu siis 3660dB arvoa joka sekunti. Mittaustapahtuman kesto vaihteli 50 sekunnista kolmeen minuuttiin.

Toinen tallentuva tiedosto on nimeltään OCT. Tämä taas sitoo kaikki mittaukset aikaan. Näin voidaan tallentuneista tuloksista palata mihin tahansa mittaushetkeen millä tahansa mitatulla taajuudella 12,5 – 20000 Hz, 33 eri taajuuskaistalla.

Lopputulosten laadintaan käytettiin ympäristön melumittausohjeiden mukaisesti A-painotusta. Tämä asetettiin mittariin asetukseksi main-kanavalle. Näytteenottotaajuutena oli 100ms. Tein mitattujen tulosten perusteella kuvaajia, joista ilmenee meluerot dieselkäyttöisen ja biokaasukäyttöisen jäteauton välillä. Peruutussireeni ei ole mukana missään mittauksessa, koska sireeni vaaditaan kaikilta jäteajoneuvoilta. Mittaukset aloitettiin vasta kun jäteauto oli pysähtynyt (kuva 23).

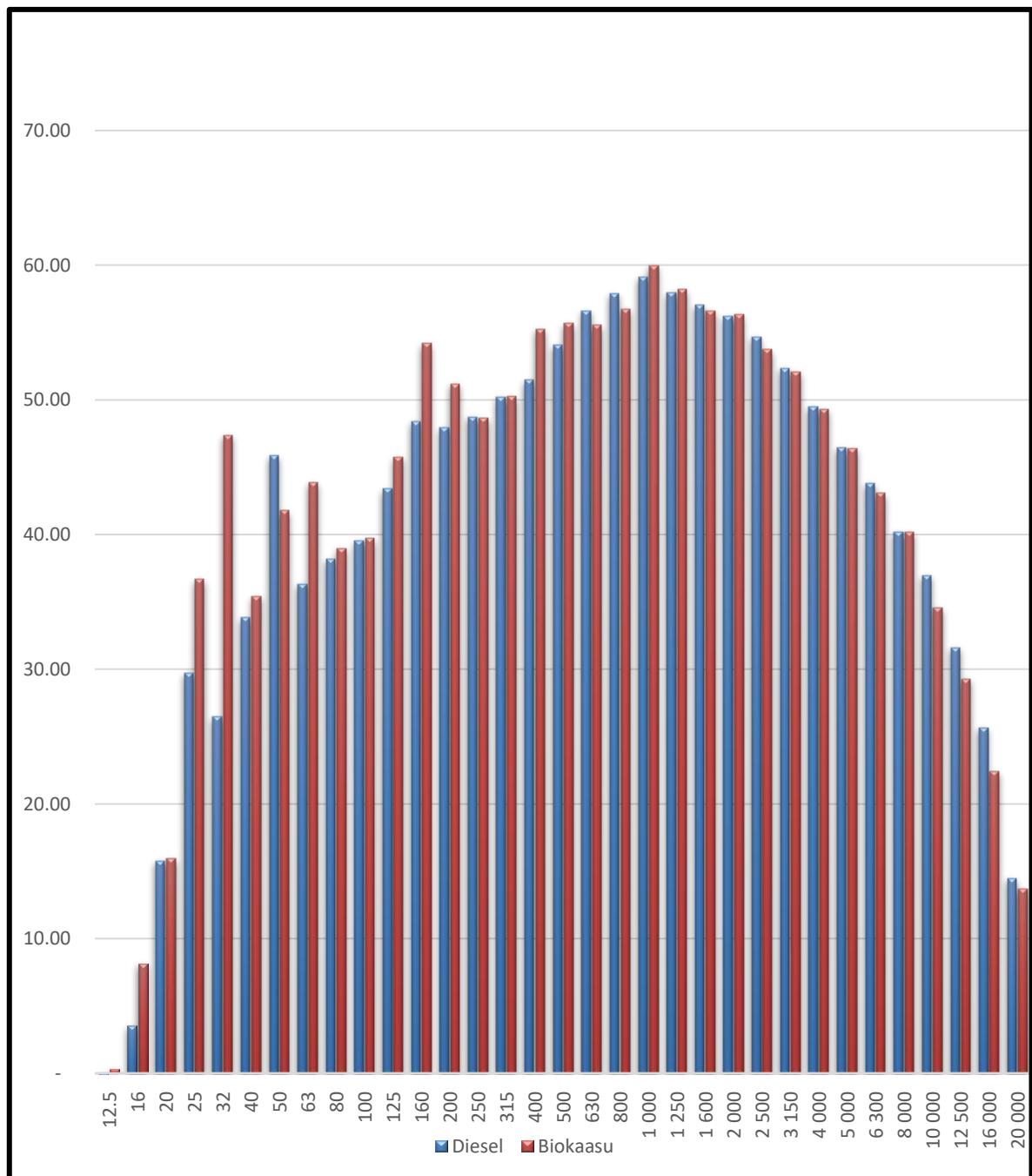
Kuva 23. Jäteauton melu ja taustamelu



10.2 Melun taajuudet

Mittauksissa vertailtiin diesel- ja biokaasukäyttöistä jäteautoa. Melusta mitattiin äänenvoimakkuutta (dB) sekä taajuusjakaumaa (Hz). Koska ääni koostuu lukuisista eri taajuuksista, on hyvä tutkia millaisia taajuuksia mitattu ääni sisältää. 1/3 oktaavi- eli terssimittauksella kuuloalue (12,5Hz – 20000Hz) saadaan jaettua 33 taajuuskaistaan.

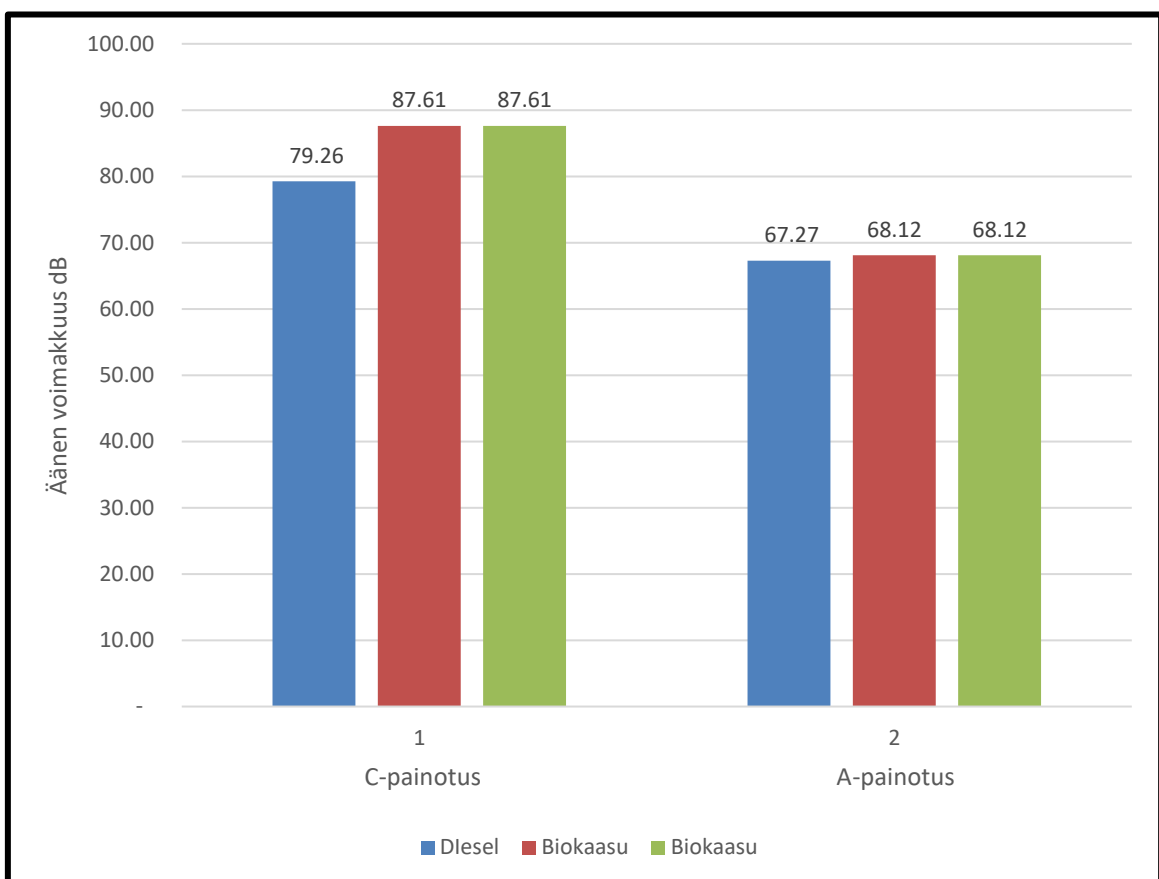
Kuva 24. Diesel- ja biokaasukäyttöisen jäteauton taajuusjakaumat



Kuvaajassa y-akselilla on äänenvoimakkuus ja x-akselilla taajuuskaistat. Kuvaajat ovat mittausjakson keskiarvoja. Kuvasta voidaan huomata, että molempien käyttövoimien meluarvot ovat hyvin samankaltaiset. Mittaukset ovat usean mittauksen keskiarvoja yksittäisten mittavirheiden eliminoimiseksi. Joillakin taajuuksilla esiintyvät piikit ovat ajoneuvokohtaisia eivätkä johdu polttoaineesta.

Kokonaismelu mitattiin molemmille autoille A- ja C-painotuksella (kuva 25). Biokaasuauto osoittautui C-painotuksella hieman dieseljäteautoa meluisammaksi. Biokaasuautoa mitattiin kahtena eri päivänä, lähes yhtenevin tuloksin.

Kuva 25. Keskimääräinen melu



10.3 Polttomoottorin aiheuttama ääni

Mekaaninen värähtely perustuu Newtonin toisen lain liikeyhtälöön, jonka pohjalta on mahdollista selittää kaikki värähtelyn ilmiöt. Käytännön monimutkaisetkin värähtelymekanismit perustuvat tähän yksinkertaiseen liikeyhtälöön, jota on mahdollista soveltaa myös polttomoottorin värähtelyn mallintamiseen. (Adams, 2010)

Työtahdin alussa tapahtuva polttoaineen palaminen aiheuttaa kaasun äkillisestä laajenemisesta johtuvan iskun sylinteriin. Isku toimii värähtelyn herätteenä, jonka taajuudeksi muodostuu puolet kampiakselin pyörimistaajuudesta, kun palotapahtumia sylinterissä on yksi kampiakselin kahden kierroksen aikana. Useasynterisessä moottorissa palotapahtuman aiheuttamia herätteitä esiintyy taajuuksilla pyörimistaajuuden puolikkaan välein, mutta kuitenkin palotaajuus on aina sylinterien lukumäärän puolikas kerrottuna kampiakselin pyörimistaajuudella. (Tikkanen, 2017)

Näin saamme siis kuusisynteriselle Scania moottorille 1000 rpm. työkierrosnopeudella $6/2 \cdot 1000 \text{ 1/s} = 3000 \text{ Hz}$. Tyhjäkäynnillä 500 rpm. taajuus on puolet eli 1500 Hz. Nämä värähtelytaajuudet ovat siis moottorin aiheuttamia.

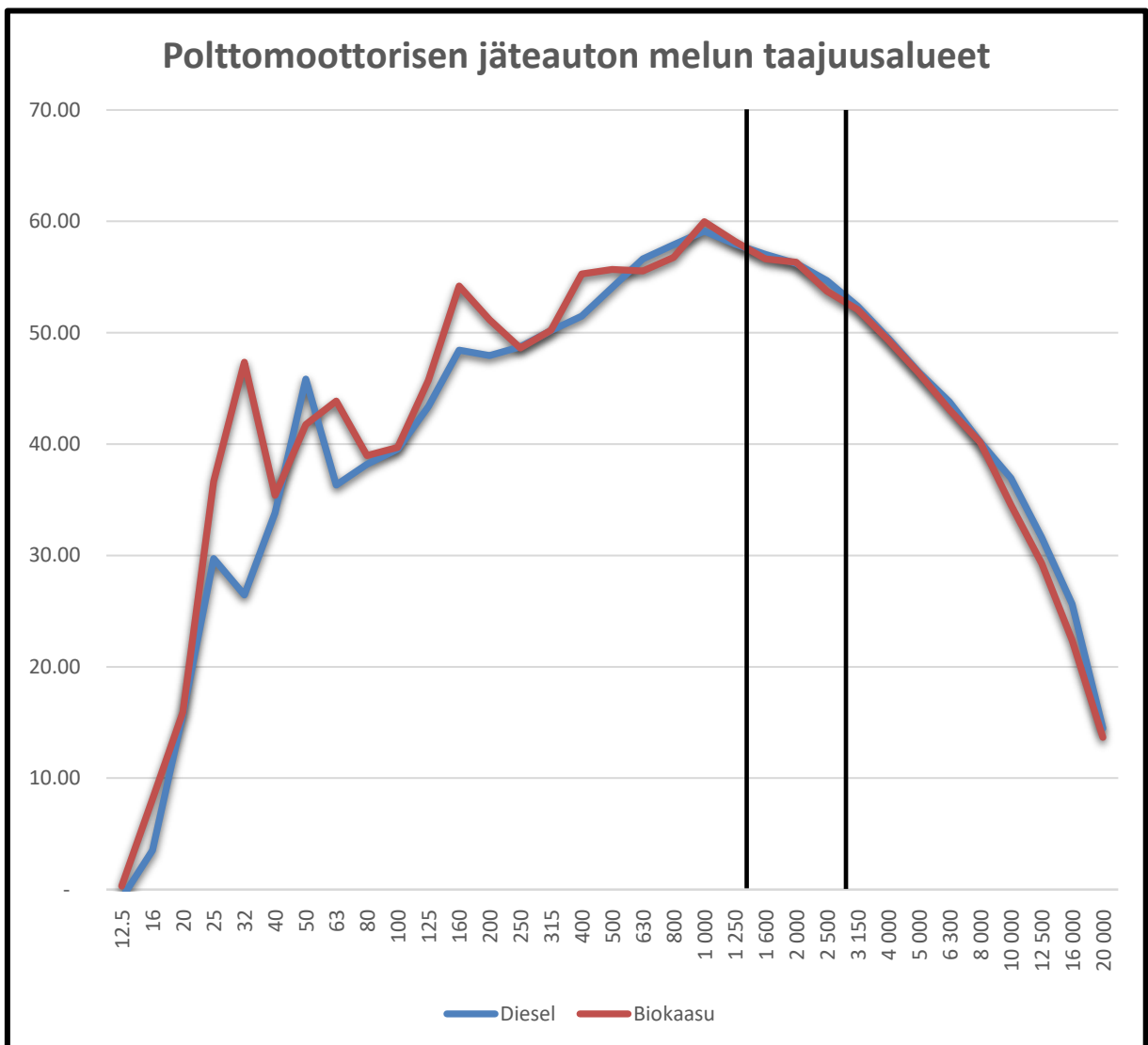
Paikalliset herätteet syntyvät moottorin liitännäisten komponenttien muodoista, kuten hammaspyörien hampaista tai pumppujen siivistä. Herätteiden taajuus on riippuvainen komponentin pyörimisnopeuden lisäksi muotojen lukumäärästä tai virtauksista johtuvien herätteiden taajuudet puolestaan virtausten muutoksista. (Tienhaara, 2004)

Kun jäteauto tyhjentää jätesäiliön ja pakkaa jätteen tiiviiksi käytetään hydraulisesti toimivia työsyntereitä. Hydraulipumppu on moottorin lisälaitte, joka saa käyttövoimansa vaihteiston

voimanotosta. Pumppu on yleensä tyypiltään muuttuvatilavuuksinen mäntäpumppu. Koska hydraulikan on toimittava myös ajon aikana, voimanotto on kytkimestä riippumaton. Hydraulipumppu antaa meluun paikallisia herähteitä, jotka ovat riippuvaisia moottorin kierrosnopeudesta ja pumpun välityssuhteesta. Moottoriin on liitetty myös muitakin lisälaitteita, Mutta pakoäänen merkitys lienee yksittäisesti suurin. Koneissa kuitenkin esiintyy lähes aina erilaisista, ei toiminnallisistakin osista lähtevää resonanssiääntä. Tämä voi ilmetä useilla taajuuksilla ja kierrosluvuilla.

Voimme kuitenkin voimme päätellä, että sähkökäyttöisessä jäteautossa melu vähenee ainakin 1500Hz – 3000Hz taajuudella. Tämä on aktiivista kuuloaluetta (kuva 26).

Kuva 26. Mitatut äänenvoimakkuudet diesel- ja biokaasukäyttöisistä jäteautoista



Pystyivät erottavat polttomoottorin suorat taajuudet. Lisäksi moottorin värinä sekä erilaisilla välityssuhteilla pyörivät apulaiteet aiheuttavat lukuisia värinöitä erilaisilla taajuuksilla. Polttomoottorin vaihtuminen sähköiseksi tulee vaikuttamaan laajalla taajuusalueella. Jos jätepakkaaja on lisäksi varustettu sähköisillä työsylintereillä, jotka eivät vaadi hydraulikkaa, melu pienenee edelleen.

11 Tulokset päästöistä

11.1 Fossiiliset polttoaineet

Kuten jo aiemmin tekstissä todettiin, polttoaineen kulutustulokset saatiin L&T Ympäristöpalvelut Oy:ltä. Dieselauton kulutuslukemat tulevat ajon seurantaohjelmasta. Biokaasuauton kohdalla polttoaineen kulutus lasketaan päivittäisestä tankkauslaskutuksesta Gasum:lta. Rahtitiedot taas saadaan ajon seurantaohjelmasta.

Aiemmin laskettuna saatiin:

Diesel 7,14 litraa dieseliä/tonni jätettä 54km=7563.03tkm

Biokaasu 1päivä 11,66kg biokaasua/tonni jätettä 69km=5917.67tkm

Biokaasu 2päivä 8,60kg biokaasua/tonni jätettä 66km=7674.42tkm

Vertailuna L&T Ympäristöpalvelut Oy kulustietoina: heinäkuussa 2020

biokaasua kului 1855,1kg

jätettä kuljetettiin 152260kg

kuljetettu matka oli 1970km

Näistä saadaan keskiarvokulutukseksi 12,18kg biokaasua/tonni jätettä tai 1kg biokaasua ja 82.08kg jätettä.

Dieselin energiasisältö on 36MJ/l

Biokaasun energiasisältö on 50MJ/kg

eli

Diesel $7.17\text{litraa} * 36\text{MJ/l/tonni} = 258.12\text{MJ/tonni}$

Biokaasu $12.18\text{kg} * 50\text{MJ/kg/tonni} = 609\text{MJ/tonni}$

Diesel kulutus 62.7l/100km

Biokaasu kulutus 94.16kg/100km

11.2 Energian päästökertoimet

Kotimaisen sähköntuotannon päästökertoimina on käytetty tuotantomuotokohtaisia keskiarvopäästöjä, jotka ovat määritetty yhdessä Tilastokeskuksen ja Energiateollisuus ry:n kanssa. Laskennassa käytettyinä tuotantomuotoina ovat vesi-, ydin-, tuuli- ja aurinkovoima, yhteistuotannot (kaukolämpö ja teollisuus) sekä muu tuotanto ja tehoreservi. Jokaiselle tuotantomuodolle sekä sähköntuonnille on määritetty oma CO₂-päästökerroin, joiden avulla arvioidaan niin Suomen sähköntuotannon kuin Suomessa kulutetun sähkön tuottamisesta aiheutuneet CO₂-päästöt. Laskenta ei ota huomioon tuotantolaitosten ja infrastruktuurin

elinkaareen liittyviä kasviuonekaasuja eikä muita ympäristövaikutuksia. Lisäksi EU:n päästökauppaa tai alkuperätakuuta ei ole huomioitu laskennassa. (Fingrid, 2021)

Suomen sähköntuotannon päästökerroin keskiarvo on 10.04.2021 80g CO₂/kWh

Sähköä voidaan tuottaa useilla tavoilla. Sitä voidaan myös myydä ja ostaa. Tässä työssä valittiin sähkön tämänhetkinen keskimääräinen päästökerroin kaikki tuotantomenetelmät mukaanlukien, jotta vertailu fossiilisiin polttoaineisiin olisi mahdollinen. (Fingrid, 2021)

Biokaasu: "Kasviuonekaasupäästöjen laskennassa huomioidaan hiilidioksidi- (CO₂), typpioksiduuli- (N₂O) ja metaanipäästöt (CH₄). Fossiilisena vertailukohtana käytetään arvoa 83,8 g CO₂-ekv/MJ (RES-direktiivi)." (Gasum, 2021)

Diesel: Moottorikäyttöön tarkoitetun dieselöljyn standardi on EN590, tiheys 0,80 kg/l (15 °C:ssa) ja sitä käytetään mm. raskaissa ajoneuvoissa. Oletuspäästökerroin 2600g/l (Tilastokeskus, 2021)

Sivulla 25 (kuva 12) Volvon kuvaajan mukaan sähköisen jäteauton kulutus on 125 kWh – 150 kWh/100km.

Diesel kulutus 62.7l/100km à 2600 gCO₂ ekv /l = 163,020kg/100km

Biokaasu kulutus 94.16kg/100km à 750.60, gCO₂ ekv/kg= 70,676kg/100km

Sähkö kulutus 125 kWh – 150 kWh/100km à 80 gCO₂ ekv /kWh = 10,00g – 12,00kg/100km

11.3 Vertailu hinnoittain

Sähkön kokonaishinta muodostuu kolmesta kokonaisuudesta; sähköenergian hinnasta, sähkönsiirron hinnasta sekä sähkö- ja arvonlisäveroista. (Energiateollisuus, n.d.)

Tässä vertailussa käytetään sähkön keskihintana 0.13 €/kWh. Tähän sisältyvät siirto ja verot. Yrittäjällä on mahdollisuus valita sähköntuotantomenetelmä sekä tuottaja. Siksi tässä on käytetty keskihintaa realistisen vertailun mahdollistamiseksi.

Dieselpolttoaine 1.50€/l

Biokaasu 1.44€/kg (Gasum, 2021)

Diesel kulutus 62.7l/100km à 1.50€/l = 94.05€/100km

Biokaasu kulutus 94.16kg/100km à 1.44€/kg=135.59€/100km

Sähkö kulutus 125 kWh – 150 kWh/100km à 0.13€/kWh=16.25€ - 19.5€/100km

11.4 Ajosuorite

Keskimäärin diesel- ja biokaasukäyttöinen jäteauto keräsivät noin 8t jätettä/100km. Koska sähköinen jäteauto on pakkaus- ja kuljetusominaisuuksiltaan samankaltainen, voidaan tätä arvoa käyttää vertailussa ajosuoritteesta. Jäteauton tonnikilometrin hinta on:

Diesel 94.05€/(100km*8t) = 0.12€/tkm

Biokaasu $135.59\text{€}/(100\text{km}\cdot 8\text{t}) = 0.17\text{€}/\text{tkm}$

Sähkö $16.25\text{€} - 19.50\text{€}/(100\text{km}\cdot 8\text{t}) = 0.020\text{€} - 0.024\text{€}/\text{tkm}$

12 Johtopäätökset ja arviointi

Tutkittuani sähköisen jäteauton mahdollisuuksia kaupungin jätehuollossa, huomasin kysymyksen monitahoisuuden. Painetta muutokseen on ympäristösyistä. Lahden asema Euroopan ympäristöpääkaupunkina 2021 on hieno asia. Ympäristöasiat ovat myös julkisen kuvan kannalta laajasti esillä. Jätehuolto Lahdessa hoidetaan palveluntarjoajien toimesta siten, että taloyhtiö voi tilata jätehuollon haluamaltaan toimijalta. Kolme suurinta kuljetusyritystä Lahdessa ovat: L&T Ympäristöpalvelut Oy, Remeo Oy ja Hämeen Kuljetuspiste Oy. Yhteistyökumppanikseni valikoitui L&T Ympäristöpalvelut Oy.

Kaikesta huolimatta yritin keskittyä opinnäytetyössäni oleelliseen ja pitää fokuksen tarkkana. Olin päättänyt selvittää mitkä ovat, ei niin kaukaisen, tulevaisuuden näkymät kaupungin huoltoliikenteen osalta. Varmaa on, että kuljetuskaluston sähköistyminen on jo ovella. Muutos jätteenkuljetuksen sähköistymiseen vaatii varmasti rinnalleen samankaltaisia muutoksia myös kaupungin muiden kuljetustarpeiden osalta. Kaupunki-infran kehittäminen tuo mukanaan ainakin jäteauton lataustarpeiden huomioimista. Nyt kehitteillä oleva HSY:n sähköinen jäteauto on vielä sähkökäyttöiseksi muutettu kuorma-auto. Jätteenkuljetusauto on kehitetty olemassa olevan kuorma-auton alustan pohjalle. Nykyisellään ratkaisu on toimiva. Kuitenkin voisi olla mahdollista kehittää ohjaamokori, jossa jätepakkaaja olisi osa korirakennetta. Nykyisin on kehitteillä sähköalustakonsepteja, jotka sisältävät akuston, alustarakenteen, ohjauslaitteet sekä jarrulaitteet erilaisine akselistoineen. Tällaisen rakenteen päälle voi rakentaa korin, jossa on ohjaamo ja jätepakkauslaite säiliöineen.

Vertailin perinteisten jäteautojen melua sekä kulutus- ja päästöominaisuuksia sähköiseen jäteautoon, josta on vielä valitettavan vähän kokemuksia. Muissa maissa prototyyppisiä tuki on käytössä, joista tähänkin työhön on lainattu tietoja. Päästöjen vähentäminen kaikkialla liikenteessä on maailmassa ykkösprioriteetti. Käytön kannalta sähkö on siinä ylivoimainen. Päästöt ovat jäteauton ajaessa käytännössä nolla. On sitten eri asia, kun pohditaan sähköä tuottamista. Sähköä tuotetaan monilla eri menetelmillä. Näiden päästöt voivat poiketa toisistaan merkittävästi. Myös sähköauton vaatima akkutekniikka ja akkujen valmistaminen kuormittavat tuotantoketjua merkittävästi. Akkujen vaatimat erikoismetallit kuten litium ovat harvinaisia ja kalliita. Uudentyyppisiä akkuja kehitetäänkin jo kovaa vauhtia.

Polttomoottorin puuttuminen tuo varmasti toivottua muutosta meluongelmaan kaupungeissa. Sähkömoottori jäteauton voimanlähteenä on hiljainen ja lähes huoltovapaa. Jos auto vielä varustetaan pakkaajan osalta sähköisillä työsyntereillä, vapaudutaan hydraulikan käytöstä ja toiminta muuttuu hiljaisemmaksi. Tekniikka tähän kaikkeen on jo olemassa. Mahdollinen muutos voisi olla myös hiljaisuuden myötä saavutettava keräilyaikataulujen väljentyminen. Kun autot liikkuvat ja toimivat hiljaisemmin niillä voitaisiin liikkua myös aiemmin/myöhemmin. Suuri osa melusta jäteautossa syntyy kuitenkin vielä jäteastioiden liikuttelusta, roskien puristamisesta kokoon sekä pakollisesta turvavarusteesta, peruutussummerista. Hiljaisempia roska-astioita on kehitteillä. Roska-astiat sijaitsevat kuitenkin usein asuintalojen välittömässä läheisyydessä, joten melusta ei voida kokonaan päästä eroon.

Kehityksen kulkua usein myös jarruttaa raha ja sen puute. Sähköistä jäteautoa ei voi vielä ostaa, ainakaan niin että sillä olisi valmis hinta. Koska valmiit sähköjäteautot ulkomaillaakin ovat yksittäiskappaleita, voi hintaa vain arvailla. Kaksin, kolminkertainen hinta perinteiseen jäteautoon verrattuna varmasti osaltaan hidastaa kalliin investoinnin tekemistä. Akkujen kesto myös on vielä kysymysmerkki varsinkin jäteautossa. Jätteenkeräilyauto ajaa vuoron aika vähäisen kilometrimäärän mutta pakkaaja tekee töitä auton ollessa paikallaankin. Tämä kuluttaa virtaa, vaikka auto seisoo paikallaan. Vuorojen väliin tarvitaan ainakin lyhyt

pikalataus, jotta virtaa riittää vielä iltavuorollekin. Yöllä akut voidaan sitten ladata täyteen. Sähköinen jäteauto voisi olla vaikkapa automatisoidun jätensäiliön tyhjennyksen ajan laturissa samalla kun vuoro vaihtuu. Näin uusi kuljettaja saa auton, joka on valmiina iltavuoroon säiliö tyhjänä ja akku ladattuna.

Arvioin opinnäytetyöni edenneen suunnitellulla tavalla, eikä varsinaisia vastoinkäymisiä ollut. Opinnäytetyöni aihe kehittyi keskustelussa ohjaajani, lehtori Teppo Sotavallan kanssa. Tavoitteet olivat alusta alkaen selkeät ja pyrin niihin johdonmukaisesti. Opinnäytetyölläni ei ollut toimeksiantajaa vaan päätin ehdottaa yhteistyötä Lahtelaisille jätealan toimijoille. Yhteistyökumppanin, L&T Ympäristöpalvelut Oy:n löytäminen oli hienoa. Työskentely substanssiohjaajani, yksikönpäällikkö Suvi Vanhalan kanssa, oli helppoa. Puhelimitse pidetyn aloituspalaverin jälkeen yhteydenpito oli sujuvaa ja hetkittäin lähes päivittäistä. Hän toimitti kaikki pyydettyt tiedot ja järjesti mahdollisuudet tutkia jäteautoja päivittäisessä liikenteessä kolmena eri päivänä.

Myös yhteistyö Lahden kaupungin kanssa oli hedelmällistä. Lahden kaupungin Ympäristökoordinaattori Jenni Rahkonen järjesti Teams-palaverin, jossa pohdimme opinnäytetyöni painotuksia. Häneltä sain myös tietoa Lahdessa tehdyistä melumittauksista. Lahden kaupungin Ympäristönsuojelutarkastaja Hanna Seisto avusti työn tekemisessä, järjestämällä käyttööni äänitasomittarin kalibrointilaitteen, jota tarvittiin ympäristömelun 1.lk mittauksen tekemiseen. Sain häneltä myös kalibrointiohjeet. Lahden kaupungin Ympäristönsuojelutarkastaja Johanna Saarola toimitti minulle tutkimustulokset kaupunkimelusta karttana. Yliopettaja Jukka Varrio järjesti käyttööni HAMKin äänitasomittarin ja opasti laitteen käytössä.

Opinnäytetyön tekeminen osoittautui vaativaksi ja palkitsevaksi. Pyrin tekemään koko työn yhtäjaksoisesti turhia taukoja pitämättä. Kaikkiaan aikaa kului kuitenkin kaksi kuukautta, pieniä taukoja pitäen. Valitettavasti en saanut mukaan varsinaista mitattavaa sähköistä

jäteautoa. Kuitenkin sain itse näkemyksen, miten asiat voivat alkaa kehittymään tulevaisuudessa. Yhteistyö L&T Ympäristöpalvelut Oy:n kanssa oli opettavaista ja ilman heidän apuaan työtäni tällaisenaan olisi ollut mahdoton tehdä.

LÄHTEET

Adams, M.L., 2010. Rotating machinery vibration: from analysis to troubleshooting. 2nd edn. Boca Raton, Fla.: CRC Press/Taylor & Francis. s. 442

Biovoima, n.d. <https://biovoima.com/biokaasu>, (Luettu 17.03.2021)

Energiateollisuus, n.d. https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_hinta (Luettu 10.04.2021)

Erasto R, 2007,
[https://www.hel.fi/static/helsinki/paatosasiakirjat/Kh2007/Esityslista16/Liitteet/Teollisuusm
elun_mittaaminen.pdf?Action=sd&id=071100367](https://www.hel.fi/static/helsinki/paatosasiakirjat/Kh2007/Esityslista16/Liitteet/Teollisuusm
elun_mittaaminen.pdf?Action=sd&id=071100367) (Luettu 06.02.2021)

Euroopan ympäristökeskus, 2020 <https://www.eea.europa.eu/fi/articles/melusaaste-on-merkittava-ongelma-seka> (Luettu 04.02.2021)

Euroopan ympäristökeskus, 2020
[https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/reduction_napcp/FI%20final%20NAPCP%2029M
arch19%20annexed%20report%20FI.pdf](https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/reduction_napcp/FI%20final%20NAPCP%2029M
arch19%20annexed%20report%20FI.pdf) (Luettu 17.03.2021)

Eur-Lex, 2002, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex:32002L0049> (Luettu 25.03.2021)

Fingrid, 2021, <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinainformaatio/co2/> (Luettu 10.04.2021)

Finlex, 1992, <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993> (Luettu 25.03.2021).

Gasum, 2021, <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/miksi-biokaasu/kaasuauton-paastot/> (Luettu 10.04.2021)

Gasum, 2021, <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tankkaushinnat/> (Luettu 10.04.2021)

Greenlahti, 2021 <https://greenlahti.fi/> (Luettu 04.02.2021)

Ilmatieteen laitos, n.d. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasujen-tutkimus>
(Luettu 17.03.2021)

Koivumäki A, Äänikerronta, Painatuskeskus Oy, Helsinki 1993, ISBN 951-37-1096-3, s. 9-10)

Laaksonen J. 2006, Äänityön kivijalka 30; Helsinki: Idemco. 1995, 24)

Lahden Kaupunki, Taustamelun mittauskartta

Liikenne ja viestintäministeriö, 2020, <https://www.lvm.fi/-/tieliikenteen-paastot-laskussa-2020-luvulla-uusia-toimia-tarvitaan-yha-1166678> (Luettu 04.02.2021)

Ruippo M, 1999, <http://ruippo.fi/mustek/bandikamat/page24/page24.html> (Luettu 26.03.2021)

Scania, 2016, <https://www.scania.com/fi/fi/home/kestava-kehitys/vaihtoehtoiset-polttoaineet/bio-ja-maakaasu.html> (Luettu 22.03.2021)

Starck J, Teräsvirta L, Melu, s.13, Työterveyslaitos, Helsinki, ISBN 978-951-802-867-6).

Teknologiateollisuus, 2020, <https://emobility.teknologiateollisuus.fi/en/node/2129> (Luettu 06.02.2021)

Teknologiateollisuus, 2020,
<https://emobility.teknologiateollisuus.fi/fi/ajankohtaista/jatehuolto-voi-tulevaisuudessa-liikennoida-sahkolla-hiljaa-ja-ilman-paastoja> (Luettu 30.03.2021)

Tienhaara, H, 2004, Guidelines to engine dynamics and vibration, Wärtsilä Corporation.

Tikkanen, S, IHA-2240 Teholähteet, 2017, Tampereen teknillinen yliopisto. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/117031/SaarimakiJukka.pdf?sequence=2&isAllowed=y> (Luettu 09.04.2021)

Tilastokeskus, 2021, http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html
(Luettu 10.04.2021)

Traficom, Tieliikenteen eri käyttövoimien ja polttoaineiden lähipäästöt, 2020
https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/2020-06-02_Tieliikenteen%20eri%20k%C3%A4ytt%C3%B6voimien%20ja%20polttoaineiden%20l%C3%A4hip%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6t_Vaihe%201_final_uusi.pdf (Luettu 08.02.2021)

Volvo, 2020,
<https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/The%20future%20of%20battery%20electric%20trucks%20Volvo%20group.pdf> (Luettu 05.03.2021)

Volvo, 2018 <https://www.recyclingtoday.com/article/volvo-trucks-electric-refuse-vehicle/>
(Luettu 17.03.2021)

VTT / Aliisa, 2020, <http://lipasto.vtt.fi/aliisa/index.htm>

Ympäristöministeriö, 1995,
<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42692/Ymp%C3%A4rist%C3%B6melun%20mittaaminen.pdf?sequence=1> (Luettu 26.03.2021)

Liite 1: Äänimittarin kalibrointilaitteen kalibrointitodistus



Norsonic
Certificate of Calibration
Certificate No.: Cal 022-2020-12605



Test object: Sound Calibrator
Manufacturer: Larson and Davis
Type: CAL200
Serial no: 10636

Customer: Lahden kaupunki

Address: Finland

Order No: CO2029010

All tests are performed according to IEC 60942 : 2003, Annex B.

The stated levels are relative to 20 μ Pa. The distortion value (in %) is the signal to total noise ratio.

The calibrator was placed on top of the reference microphone, only held in place by gravity. At least three repetitions have been performed. No adapter ring was needed to obtain half inch configuration.

	Level	Level stability	Frequency	Frequency stability	Distortion
Nominal	114 dB dB		1 kHz		
Result (Average):	114,06 dB	0,01 dB	1000,56 Hz	0,00 %	0,48 %
Expanded Uncertainty:	0,14dB	0,02 dB	1,00 Hz	0,10 %	0,30 %

The calibrator level was not adjusted.

Statement of Conformity. This test object is type approved. Reference: PTB 21.5-09.01

As public evidence was available, from a testing organization responsible for approving the results of pattern evaluation tests, to demonstrate that the model of sound calibrator fully conformed to the requirements for pattern evaluation described in Annex A of IEC 60942:2003, the sound calibrator tested is considered to conform to all the class 1 requirements of IEC 60942:2003.

Date of calibration: 2020-07-14
Date of issue: 2020-07-14

Environmental conditions:	Pressure:	Temperature:	Relative humidity:
Reference conditions:	101,325 kPa	23,0 °C	50 %RH
Measurement conditions:	98,04 \pm 0,02 kPa	22,9 \pm 1,2 °C	46,0 \pm 3,4 %RH

Operator:


Kent A Narvesen

Supervisor:


Thor Carlsen

This certificate of calibration is issued by a laboratory accredited by Norwegian Accreditation (NA). NA is one of the signatories to the EA Multilateral Agreement for mutual recognition of calibration certificates (European Co-operation for Accreditation). The accreditation states that the laboratory meets the NA requirements concerning competence and calibration system for all the calibrations contained in the accreditation. It also states that the laboratory has a satisfactory quality assurance system and traceability to accredited or national calibration laboratories. This certificate is only valid for the objects stated on the first page, and may not be reproduced other than in full.