



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

POLTTOAINEKÄYTTÖISTEN LISÄLÄMMIT- TIMIEN INTEGROIMINEN SÄHKÖAUTOIHIN

Tero Leinonen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2018
Ajoneuvotekniikan koulutus
Auto- ja työkonetekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Ajoneuvotekniikan koulutus
Auto- ja työkonetekniikka

LEINONEN, TERO:

Polttoainekäyttöisten lisälämmittimien integroiminen sähköautoihin

Opinnäytetyö 194 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Huhtikuu 2018

Rajallinen ajosäde on yksi suurimmista sähköautojen yleistymistä Suomessa rajoittavista tekijöistä. Talvella sähköauton ajosäde pienenee entisestään, sillä auton sisätiloja joudutaan lämmittämään akustosta peräisin olevalla sähköenergialla. Jos sähköautoon asennettaisiin polttoainekäyttöinen lisälämmitin, sisätiloja voitaisiin lämmittää polttoaineesta saatavalla energialla. Säästynyt sähköenergia voitaisiin näin hyödyntää ajosäteen maksimoimiseen. Opinnäytetyön tarkoituksena on saada lisätietoa tämänhetkisistä sähköautoista. Työn tavoitteena on tiedon kerääminen sähköautojen sisätilojen lämmitys- ja lämmönhallintajärjestelmistä. Lopullisena tavoitteena on löytää yleisellä tasolla ratkaisuja siihen, miten polttoainekäyttöisiä lämmittimiä voitaisiin integroida näihin järjestelmiin. Jos sähköautoon lisättäisiin polttoainekäyttöinen lämmitin, se tuottaisi palamisesta aiheutuvia päästöjä. Työssä tutkittiin siksi lämmittimien toimintaa ja arvioitiin lämmittimien ajon aikaisia CO₂-päästöjä. Työssä tutkittiin myös lämmitinjärjestelmien asennukseen liittyvää lainsäädäntöä. Tutkimusmenetelmänä käytettiin aiheellista tutkimusta. Aiheen harvinaisuuden ja nykyaikaisuuden vuoksi työssä käytettiin monia eri tiedonhankinnan tapoja. Työn laatu varmistettiin kvalitatiivisella tutkimuksella.

Työn tuloksina todetaan, että Webasto-lämmittimillä voitaisiin saavuttaa merkittäviä parannuksia sähköautojen ajosäteeseen etenkin kaupunkiajossa ja ammattikäytössä. Polttoainekäyttöisten lämmittimien CO₂- ja muut päästöt ovat maltilliset. Vastuullista polttoainetta käyttämällä polttoainekäyttöisen lämmittimen ympäristövaikutukset pienenisivät entisestään. Lämmittimien polttoaineen kulutus on pientä ja niiden hyötysuhde on hyvä, noin 80 % luokkaa. Voimassaoleva lainsäädäntö mahdollistaa lämmittimien ja tarvittavien polttoainesäiliöiden jälkiasentamisen sähköautoihin melko vapaasti. Työn tuloksina saatiin lisäksi kattava näkemys tämän hetken sähköautoissa käytettävistä lämmityksen ja lämmönhallinnan järjestelmistä.

Tuloksista tehdyissä johtopäätöksissä lisälämmittimien ympäristövaikutukset todetaan niiden hyötyyn nähden hyväksyttäväksi. Lämmittimen integroinnilla saavutettaisiin myös perinteisistä Webasto-asennuksista tuttuja mukavuustoimintoja, ja ne voisivat jopa edesauttaa sähköautojen yleistymistä Suomessa. Tutkittavista autoista löytyi kahden sähköautovalmistajan mallit, joihin pystyttäisiin alustavasti integroimaan Webasto-vesilämmitin. Lisäksi yksi malli varustetaan Suomen markkinoita varten jo tehtaalla polttoainekäyttöisellä vesilämmittimellä. Muihin malleihin voidaan asentaa Webasto-ilmalämmitin. Lisälämmittimien tarkemmasta integroinnista ja toiminnasta sähköautoissa tulisi tehdä jatko-tutkimusta. Lisäksi sähköautojen sisätilojen lämmitysjärjestelmiä tulisi tutkia lisää.

Asiasanat: sähköauto, lämmitys, polttoaine, lämmitin, integrointi

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Vehicle Engineering
Industrial Vehicle Engineering

LEINONEN, TERO:

Integration of Fuel-operated Heaters to Electric Vehicles

Bachelor's thesis 194 pages, appendices 2 pages
April 2018

Electric vehicles are currently becoming more popular worldwide and in Finland. A key issue preventing these vehicles from becoming more common is their limited driving range. Range becomes even smaller during winter time, since a lot of electrical energy is needed from the traction battery to heat up the interior. If a fuel-operated heater could be installed into an electric vehicle, heating energy could be used from liquid fuel instead of electricity. This saved electrical energy could be thus used to propel the vehicle and winter-time range would be increased. The objective of this study was to gather information about currently sold electric vehicles and especially about their heating and heat management systems. The study focuses mainly in finding ways to integrate Webasto-heaters into these systems. If a Webasto-heater was to be added, it would increase the local CO₂-emissions of electric vehicle due to combustion process. Another main purpose of this thesis was to study emissions and operation of fuel-operated heaters. Legislation of heaters needed to be also investigated. These topics were explored by extensive quantitative research and findings were confirmed by qualitative means.

The findings suggest that Webasto-heaters could improve drastically winter time range of electric vehicles, especially during city driving and in commercial use. Fuel-operated heaters emit moderate exhaust emissions, and their environmental impact can be even lower when responsible and renewable fuels are used. Webasto-heaters have a low fuel consumption and their efficiency in converting fuel into heat is high, about 80 % in average. Current legislation allows fuel-operated heaters and fuel tanks to be mounted with only some restrictions in electric vehicles. Essentially, this thesis provides a comprehensive view on current heating and heat management systems of electric vehicles.

The results indicate that the ecological impacts of Webasto-heaters are acceptable to both legislators and consumers. Heaters would provide useful help for the issue of limited range in cold climates. Webasto-systems could make many familiar convenience functions possible for electric vehicles also, and systems could even help popularising electric vehicles in Finland. Results show that there are two models, which enable the integration of a fuel-operated coolant heater. One model was also found that will be imported to Finnish market with a factory-installed heater. Webasto air heater would be the only solution for the remaining models. Further research is needed to study both installing and functioning of Webasto-systems in electric vehicles. Also, current electric vehicle heating and heat management systems should be studied more.

Key words: electric vehicle, heating, fuel, heater, integration

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Työn tausta ja tarkoitus.....	7
1.2	Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset.....	8
1.3	Aiheen rajausta ja tutkimusmenetelmät.....	9
1.4	Lähteiden käyttö.....	11
2	SÄHKÖAUTOT SUOMESSA.....	12
3	SÄHKÖAUTOJEN SISÄTILOJEN JA AKUSTON LÄMMÖNHALLINTA.....	16
3.1	Lämmitys sähkövastuksella.....	19
3.1.1	Nestekiertoa lämmittävä sähkövastus.....	21
3.1.2	Ilman lämmitys sähkövastuksella.....	22
3.2	Lämpöpumput.....	24
3.2.1	Pumpputyypit.....	27
3.2.2	Ilmalämpöpumppu.....	28
3.3	Ajoneuvojen lämpöpumppujärjestelmiin liittyviä huomioita.....	30
3.3.1	Lämpöpumpun alin lämpötila ajoneuvokäytössä.....	32
3.4	Eri pumpputyypit.....	34
3.4.1	Ilma-ilmalämpöpumppu.....	35
3.4.2	MHI ilma/vesilämpöpumppu.....	39
3.4.3	Hukkalämpöä keräävä lämpöpumppu.....	41
3.4.4	Vesi-vesi lämpöpumpun mahdollisuus.....	42
3.5	Polttoainekäyttöinen lisälämmitin sähköautoissa.....	43
3.5.1	Volvo C30 Electricin lämmönhallintajärjestelmät.....	44
4	WEBASTON POLTTOAINEKÄYTTÖISET LÄMMITTIMET.....	45
4.1	Vesilämmittimet.....	46
4.1.1	Perusteet ja toiminta.....	46
4.1.2	Vesilämmittimien asennusperusteet.....	50
4.1.3	Webasto ja Euro 6-moottoreiden haasteet.....	54
4.1.4	Pitkät letkutukset ja Individual select.....	55
4.1.5	Tekniset ominaisuudet.....	57
4.2	Ilmalämmittimet.....	60
4.2.1	Perusteet ja toiminta.....	60
4.2.2	Ilmalämmittimien asennusperusteet.....	64
4.2.3	Tekniset ominaisuudet.....	66
4.3	Käyttölaitteet ja annostelupumppu.....	69

4.4	Polttoainekäyttöiset lämmittimet sähköautoissa	70
5	SÄHKÖAUTON PÄÄSTÖT LISÄLÄMMITTÄESSÄ	75
5.1	Päästökomponentit	76
5.2	Palamistapahtuma polttomoottoreissa ja lisälämmittimissä	76
5.3	Saastepäästöjen muodostuminen lämmittimessä	81
5.4	CO ₂ -päästöt ja hyötysuhde: polttoaineiden ominaisuuksien huomioiminen	85
5.4.1	Bio-osuuden, kesä-/ talvilaadun ja eri oktaanilukujen huomiointi	87
5.4.2	Laskennan lähtöarvojen määrittäminen	88
5.5	Lisälämmittimien hyötysuhde	92
5.5.1	Thermo Top Evo 5 D -vesilämmittimen hyötysuhde	93
5.5.2	Vesilämmittimien hyötysuhde	95
5.5.3	Ilmalämmittimien hyötysuhde	95
5.5.4	Kilpailijan etanolivesilämmittimen hyötysuhde	99
5.6	Ajonaikaiset paikalliset CO ₂ -päästöt Suomessa	101
5.6.1	Thermo Top Evo 5 D -lämmittimen päästöt	101
5.6.2	Vesilämmittimien CO ₂ -päästöt	105
5.6.3	Ilmalämmittimien CO ₂ -päästöt	108
5.6.4	Kilpailijan etanolivesilämmittimen päästöt	113
5.7	Eri lisälämmittimien kaikkien päästöjen vertailu	115
5.8	Vertailu sähköntuotantoon ja yhteenveto päästöistä	118
6	AJOSÄTEEN PITENEMINEN JA KUSTANNUKSET	120
6.1	Lisälämmityksen vaikutus ajosäteeseen	120
6.2	Akuston lämmitys	123
6.3	Lisälämmityksen kustannukset	125
6.4	Sytä Webasto-järjestelmän asentamiselle	126
7	LISÄLÄMMITYKSEN INTEGROIMINEN SÄHKÖAUTOON	127
7.1	Lämmittäjiä koskevat säädökset	127
7.2	Polttoainesäiliön integroiminen	129
7.2.1	Webaston omat asennusohjeet ja sääntö UN/ECE R34	130
7.2.2	Säännön R34 tulkintaa herättävät kohdat	132
7.2.3	Viranomaisen näkemys lämmitinjärjestelmän asentamisesta sähköautoon	134
7.3	Vesilämmittimen integroiminen	135
7.3.1	Puhallinkytkentä	136
7.4	Ilmalämmittimen integroiminen	138
7.5	Tulevaisuuden haasteita, 48 V jännitejärjestelmä	139
8	MARKKINOILLA MYYTÄVIEN SÄHKÖAUTOJEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT	141

8.1	Renault Zoe.....	143
8.2	Tulossa oleva Renault Kangoo Z.E.	146
8.3	Tesla Model S ja Model X.....	147
8.4	Nissan Leaf	150
8.4.1	Ensimmäiset Nissan Leafit ja Kahan tekemä malliasennus.....	150
8.4.2	Nissan Leaf 2012 eteenpäin	152
8.5	Nissan e-NV200.....	153
8.5.1	Kahan tekemä malliasennus Nissan e-NV200.....	155
8.5.2	Järjestelmän toiminta	159
8.6	Hyundai Ioniq	159
8.7	BMW i3 ja i3 REx	163
8.8	Volkswagen e-Golf	170
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	177
9.1	Ympäristövaikutukset	177
9.2	Hyödyt	178
9.3	Lakivaatimukset.....	180
9.4	Sähköautojen lämmitysjärjestelmät ja lämmittimen integrointi	181
9.5	Työn onnistuminen ja jatkotutkimusaiheet.....	182
	LÄHTEET.....	184
	LIITTEET	193

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tarkoitus

Sähköautot ovat yleistyneet viime vuosina voimakkaasti. Niiden yleistymistä ajavat päätökset poliittisella tasolla, kuluttajien muuttuvat vaatimukset ajoneuvojen ympäristöystävällisyydestä ja suorituskyvystä, sekä suurten autonvalmistajien toimet näiden vaatimusten perusteella. Sähköautojen yleistymistä haittaavat pääasiassa niiden toistaiseksi korkeampi hankintahinta ja pienempi ajosäde polttomoottoriautoihin verrattuna. (Nylund 2011, 5).

Sähköautot ovat olleet jo 6 vuotta sitten ja ovat varsinkin nykyisin osa suomalaista liikennejärjestelmää, ilmastopolitiikkaa, sekä liikennepolitiikkaa. Sähköautojen merkitys kasvaa entisestään niiden määrän kasvaessa. (Nylund 2011, 5). Kuluttajien ostokäyttäytymistä pyritään ohjaamaan esimerkiksi vuosina 2018 – 2021 jaettavalla sähköautojen hankintatuella (Trafi Sähköauton hankintatuki 2018). Sähköisiä ajoneuvoja tuetaan kuitenkin osana sähköistä liikkumista paljon Suomen kansallista tasoa suuremmin ja suuremmin, esimerkiksi osana EU:n ilmasto- ja kestävä kehityksen tavoitteita (KOM/2008/0800 lopull.). Koska sähköautot yleistyvät, monien perinteisten autoalan toimijoiden on sopeuduttava tilanteeseen, sekä muokattava tuotteitaan ja palveluitaan näitä uusia ajoneuvoja vastaaviksi.

Opinnäytetyön tilaajana on Oy Kaha Ab. Yritys tunnetaan muun muassa saksalaisen Webaston tuotteiden virallisena maahantuojana ja tukkumyyjänä Suomessa. Webasto taas tunnetaan erilaisiin ajoneuvoihin asennettavista tuotteistaan etenkin seuraavilla kolmella eri päätoimialoilla: polttoainekäyttöiset lisälämmittimet, autojen kattoluukkujärjestelmät, sekä ajoneuvojen ilmastointijärjestelmät. Neljäntenä toimialana Webasto on alkanut hiljattain valmistaa myös uuden teknologian tuotteita, joihin kuuluvat esimerkiksi sähköautojen latauslaitteet ja akkujärjestelmät (Kaha – tuotemerkkimme – Webasto 2018). Etenkin polttoainekäyttöisten lisälämmittimien valmistajana Webasto on Suomessa käsite. (Kaha Extranet 2018).

Mikäli sähköautoon asennettaisiin polttoainekäyttöinen lisälämmitin, voitaisiin kaikki, tai ainakin suuri osa sisätilojen lämmitykseen tarvittavasta lämpöenergiasta tuottaa Webasto-lämmittimen avulla. Näin säästynyt sähköenergia voitaisiin käyttää ajosäteen maksimoimiseen. Ajosäde saattaisi kasvaa merkittävästi etenkin kylmässä säässä ja ruuhkaisuudessa kaupunkiajossa.

Koska sähköautot ovat jo yleistyneet maailmalla, on niiden yleistymisen myös Suomessa todennäköistä. Opinnäytteen ensisijaisena tarkoituksena onkin kerätä tietoa Kahalle sähköautoista ja niiden lämmitysjärjestelmistä, jotta yritys olisi valmistautunut niiden yleistymiseen lähitulevaisuudessa.

1.2 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Ajosäteen lyheneminen talvella on sähköautojen ongelma, mutta sähköautot ovat myös kehittyneet viime vuosina merkittävästi. Suurin syy ajosäteen kasvuun on akkuteknologian kehittyminen ja akkujen hintojen halpeneminen (Andersen 2017). Yhtenä osasyynä ajosäteen kasvuun lienee kuitenkin myös se, että sisätilojen lämmitykseen käytettävien järjestelmien energiatehokkuus on parantunut muutamassa vuodessa merkittävästi.

Sähköautoista ja polttoainekäyttöisistä lämmittimistä on todennäköisesti tehty paljonkin erillistä perustutkimusta ja soveltavaa tutkimusta. Kuitenkaan lämmittimien jälkiasentamisesta sähköautoihin ei ole tiettävästi tehty ennen soveltavaa tutkimusta Suomessa. Opinnäytteen soveltavan tutkimuksen tavoitteet ovatkin samat kuin Kahan tarpeet opinnäytteen tilaajana. Tavoitteina on saada kattava näkemys nykyisten sähköautojen sisätilojen lämmitysjärjestelmistä, sekä muodostaa käsitys eri tavoista, joilla Webaston tuotteita voitaisiin integroida niihin. Tavoitteisiin pääsemiseksi aiheesta on hyödyllistä muodostaa keskeisiä tutkimuskysymyksiä.

Työn kannalta keskeisintä on selvittää polttoainekäyttöisen lämmittimen tarve ja siitä saatavat hyödyt sähköautoissa. Tämä edellyttää sähköautoihin ja Webasto-lämmittimiin liittyvien järjestelmien esittelyä ja sisäistämistä. Siksi ensimmäisiä tutkimuskysymyksiä ovatkin: minkälaisia sähköautoja on tällä hetkellä tarjolla Suomessa? Minkälaisia lämmitys- ja lämmönhallintajärjestelmiä sähköautoissa käytetään?

Mikäli jokin Webaston lisälämmitin asennettaisiin sähköautoon, sen paikalliset CO₂-päästöt eivät olisi enää 0 g/km. Koska näin on tarkoitettu sähköauton valmistushetkellä ja tämä on huomioitu ajoneuvon verotuksessa ostohetkellä, on lämmittimen hiilidioksidipäästöjä ja ympäristöystävällisyyttä hyvä arvioida kuluttajia ja työn tilaajaa varten. Opin näytetyö pyrkiikin siis vastaamaan myös seuraaviin tutkimuskysymyksiin: mitkä ovat sähköauton ajonaikaiset paikalliset CO₂-päästöt, jos siihen asennetaan polttoainekäyttöinen lisälämmitin? Mitkä ovat polttoainekäyttöisen lisälämmittimen päästöt yleisesti? Mikä on Webasto-lämmittimien hyötysuhde?

Lisälämmittimien hyötyyn liittyviä tutkimuskysymyksiä ovat: paljonko sähköautojen ajosäde lyhenee talvella? Mitä hyötyä polttoainekäyttöinen lisälämmitin toisi sähköautoon?

Myös Webasto-lämmittimien asennukseen liittyy monia huomioon otettavia asioita. Lämmittimelle ja sen komponenteille tulee esimerkiksi löytää sähköautosta sopivasti tilaa ja autoon tulee asentaa ylimääräinen polttoainesäiliö. Lisälämmittimen asennukseen ja integrointiin liittyvät tutkimuskysymykset ovat: onko Webasto-lämmittimen integroiminen mahdollista? Miten lämmitin integroidaan eri sähköautoihin? Minkä tyyppistä lämmitintä voidaan käyttää missäkin sähköautossa? Mihin lämmitimen vaatima polttoainesäiliö voidaan sijoittaa? Mitä lakivaatimuksia lisälämmittimien ja polttoainesäiliöiden asentamiseen liittyy?

1.3 Aiheen rajausta ja tutkimusmenetelmät

Erilaisia polttomoottorin ja sähkökäytön yhdistäviä hybridimalleja on enemmän liikenteessä kuin sähköautoja (Rönkko 2017). Varsinkin Plug-in-hybridit (PHEV) ovat monilta ominaisuuksiltaan melko lähellä BEV-autoja, eli täyssähköautoja (Bosch 2014, 1116). Jotta tutkimuksen laajuus ei kuitenkaan kasvaisi liikaa, on hybridiautojen sisällyttämistä pohdittava. Hybrideissä on jo olemassa polttomoottori, polttoainetankki ja yleensä myös jäädytysnestekierron piiri, joten polttoainekäyttöinen lisälämmitin on usein asennettavissa vastaavalla tavalla kuin perinteisempiinkin autoihin. Haaste ajosäteen lyhentymisestä ei ole hybrideissä yhtä rajoittava tekijä kuin täyssähköautoissa, koska matkanteon on suunniteltu jatkuvan polttoaineen voimalla, jos akku tyhjenee. Hybridien käyttäminen

ja ajamiseen liittyvä mentaliteetti on tästä syystä erilainen kuin täyssähköautojen. Näistä syistä hybridautojen rajaaminen työn ulkopuolelle on mielekästä. Sähköiseen voimalinjaan liittyvä tekniikka on kuitenkin hyvin samanlaista niin täyssähköautoille kuin PHEV-autoille. Täten tämän työn tuloksia ja periaatteita soveltamalla voitaisiin joissakin tapauksissa lisätä myös hybridautojen sähköistä ajosädettä talvella.

Sähköautojen tekniikkaan liittyy monia polttomoottoriautoista poikkeavia ratkaisuja. Työn tarkoitus ei ole kuitenkaan selventää kattavasti kaikkia sähköautojen teknisiä ratkaisuja. Työssä painotetaan työn tavoitteiden mukaisesti siksi vain sähköautojen lämmitys- ja lämmönhallintajärjestelmiä, sekä etsitään tapoja, joilla polttoainekäyttöisen lämmittimen voisi integroida näihin järjestelmiin. Ne osa-alueet ja sähköautojen erityispiirteet, jotka eivät liity oleellisesti sähköautojen lämmönhallintaan, rajataan joko pois tai käsitellään ainoastaan yleisellä tasolla. Resurssien rajallisuuden vuoksi työssä ei tehdä mallikohtaista lämmitinasennusta tai tarkempia lämmittimen asennussuunnitelmia yhteenkään autoon. Tämän vuoksi yksittäisiä automalleja koskevat tekniset yksityiskohdat, kuten lämmittimen tai polttoainesäiliön tarkka sijoituspaikka, rajataan pois. Asennusta käsitellään kuitenkin yleisellä tasolla ja asentamista tutkitaan muun muassa lakimääräysten kautta.

Työmenetelminä käytetään pääasiassa tiedonhakua ja tiedon kokoamista olemassa olevasta perustutkimuksesta ja sovelluksista. Myös tilastojen tulkinta ja laskelmien tekeminen on olennainen osa opinnäytetyötä. Työssä tehdään myös laadun varmistavaa kvalitatiivista tutkimusta asiantuntijahaastatteluiden muodossa.

Koska Kaha näkee täyssähköautojen lisälämmittämisen liiketoimintamahdollisuutena, myös kaupalliset intressit tulee pitää mielessä. Tämän vuoksi työ kannattaa aloittaa tutkimalla, mitä sähköautoja Suomessa on tällä hetkellä myynnissä, ja kuinka monta sähköautoa on rekisteröity tieliikenteeseen. Tilastoista on pystyttävä tunnistamaan ne ajoneuvot, joita on liikenteessä useita, ja jotka saattavat myydä hyvin. Niihin autoihin, joita on paljon liikenteessä, on helpompi tehdä Webasto-kauppaa. Tämän vuoksi kaikkia mahdollisia Suomessa myytäviä tai jo rekisterissä olevia sähköautoja ei kannata ottaa mukaan tarkasteluun. Tilastojen perusteella tunnistetaan ne mallit ja merkit, joita myydään tällä hetkellä Suomessa eniten ja jotka tulevat kasvattamaan sähköautomyyntiään tulevaisuudessakin. Muut vaihtoehdot rajataan tarkastelusta pois.

1.4 Lähteiden käyttö

Koska sähköautojen teknologia ja sähköautoilu ilmiönä ovat melko tuoreita, monet autonvalmistajat pyrkivät pitämään autojensa teknisiä ratkaisuja ja tekemiään tutkimuksia salaisina kilpailuedun saavuttamiseksi. Lisäksi työn aihe on melko tarkkaan rajattu ja toistaiseksi harvinainen. Vastaavaa tutkimusta ei ole julkistettu ainakaan Suomeksi, joten valtaosa tiedosta tuli hankkia englanninkielisistä lähteistä.

Lähteinä pyrittiin käyttämään painettua kirjallisuutta aina kun se oli mahdollista. Yksi työssä eniten käytetyistä lähteistä oli Robert Bosch GmbH:n vuonna 2014 julkaisema laadukas ajoneuvotekniikan yleisteos, Bosch Automotive Handbook. Suuri merkitys oli myös arvostetussa autoalan ammattijulkaisussa SAE Technical Paper vuonna 2013 esitellyllä Apfelbeckin ja Barthelin artikkelilla. Kyseinen artikkeli on ainoa työtä varten löydetty painettu lähde, jossa käsitellään polttoainekäyttöisten lisälämmittimien ja sähköautojen integrointia mahdollisimman kokonaisvaltaisesti.

Aiheen ja ilmiön tuoreuden vuoksi suuri osa opinnäytetyössä käytetyistä lähteistä on kuitenkin peräisin internetistä. Etenkin kuvissa ja kuvioissa internet-lähteet osoittautuivat hyödyllisiksi. Myös automallikohtaista hajanaista tietoa oli saatavilla useimmiten vain internet-lähteistä, jolloin selkeä ja toimiva kokonaisuus oli mahdollista saada aikaiseksi ainoastaan yhdistämällä tiedonpalasia, ja tekemällä pitkällekin ulottuvia päätelmiä näistä palasista. Lähdekritiikki on kuitenkin pyritty pitämään tieteellisen tutkimuksen vaatimusten mukaisella tasolla, ja esimerkiksi internetistä viitattujen varaosakuvien totuudenmukaisuutta on pyritty varmistamaan luotettavaksi tiedetyn varaosaportaalin tiedoista ristiin vertailemalla. Tutkimuksessa on käytetty lähteenä myös asiantuntijahaastatteluita ja -esitelmiä, jotta varmistuttaisiin tutkimuksessa esitettyjen lämmittimiä ja sähköautoja koskevien väitteiden oikeellisuudesta.

2 SÄHKÖAUTOT SUOMESSA

Suomessa myydään sähköautoja verrattain vähän muuhun Eurooppaan verrattuna. Norja on sähköautoilun edistämisessä pitkällä, sillä erinäiset taloudelliset edut, kuten verohelpotukset ja ilmaiset pysäköinnit edistävät asiakkaiden ostopäätöksiä sähköautoa hankittaessa. (Laatikainen 2017). Työn aloitushetkellä 22.1.2018 Suomessa oli tarjolla pelkästään sähköllä toimivia henkilö- ja pakettiautoja liitteen 1 mukaisesti kahdeksalta eri valmistajalta: BMW, Hyundai, Kia, Nissan, Renault, Smart, Tesla Motors ja Volkswagen.

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi ylläpitää tilastoja uusien autojen ensirekisteröintien ja liikennekäytössä olevien autojen lukumääristä. Näitä tietoja on mahdollista hakea auton käyttövoiman perusteella. Vuoden 2017 loppuun mennessä Suomessa oli liikennekäytössä 1449 sähkökäyttöistä henkilöautoa ja 210 pakettiautoa taulukon 1 mukaisesti. (Trafi Liikennekäytössä olevat sähköautot 2017, 2018).

TAULUKKO 1. Suomessa vuoden 2017 lopussa liikennekäytössä olevat sähköiset henkilö- ja pakettiautot (Trafi Liikennekäytössä olevat sähköautot 2017, 2018, muokattu).

Ajoneuvokannan tilastot		Ajoneuvokannan tilastot	
Liikennekäytössä olevat sähköhenkilöautot malleittain		Liikennekäytössä olevat sähköpakettiautot malleittain	
31.12.2017		31.12.2017	
MERKKI JA MALLI	LKM	MERKKI JA MALLI	LKM
TESLA MOTORS MODEL S	523	NISSAN E-NV200	143
NISSAN LEAF	389	SUBARU-ELCAT CITY	21
TESLA MOTORS MODEL X	129	NISSAN LEAF	20
RENAULT ZOE	63	SUBARU-ELCAT	12
BMW I3	61	CITROEN BERLINGO ELECTRIQUE	3
HYUNDAI IONIQ	57	VOLKSWAGEN UP!	3
VOLKSWAGEN GOLF	54	PEUGEOT PARTNER ELECTRIC	2
MERCEDES-BENZ ELECTRIC DRIVE	24	MIA ELECTRIC	1
VOLKSWAGEN UP!	19	RENAULT EXPRESS ÉLECTRIQUE	1
NISSAN E-NV200	18	DONGFENG MINI TRUCK EL.	1
THINK CITY	16	CITROEN C-ZERO	1
CITROEN C-ZERO	14	MITSUBISHI I-MIEV	1
PEUGEOT ION	13	TESLA MOTORS MODEL S	1
MITSUBISHI I-MIEV	12	YHTEENSÄ	210
KIA SOUL	10		
MERCEDES-BENZ B 250E	8		
FORD FOCUS	5		
CITROEN BERLINGO ELECTRIQUE	4		
PEUGEOT 106 ELECTRIC	3		
SMART FORTWO ED	3		
CITROEN SAXO ELECTRIQUE	2		
TESLA MOTORS ROADSTER	2		
FIAT DOBLO	2		
FIAT 500	2		
YKSITTÄISET, HARVINAISEMMAT SÄHKÖHENKILÖAUTOT	16		
YHTEENSÄ	1 449		

Suomessa oli Vuoden 2017 lopussa liikennekäytössä 1449 sähköhenkilöautoa ja 210 sähköpakettiautoa. Taulukossa 1 on huomioitavaa, että luvut sähköautojen kokonaismääristä sisältävät niin itsetehdyt sähköautokonversiot, kuin myös täysin omavalmisteiset ajoneuvot. Lisäksi on muistettava, että jos jokin ajoneuvoyksilö on poistettu liikennekäytöstä esimerkiksi talviseisannon ajaksi, ei kyseinen yksilö näy taulukon 1 tilastossa.

Pelkästään näistä 1449 sähköhenkilöautosta ensirekisteröitiin taulukon 2 mukaisesti vuonna 2017 yli kolmannes, eli 502 autoa. Taulukkoon 2 on lisätty myös pakettiautoiksi ensirekisteröidyt sähköautot, joita oli yhteensä 44 (Trafi Ensirekisteröidyt sähköautot 2017, 2018).

TAULUKKO 2. Sähköautojen ensirekisteröinnit Suomessa vuonna 2017 (Trafi Ensirekisteröidyt sähköautot 2017, muokattu)

Merkki ja malli	Henkilöautot + pakettiautot yhteensä
TESLA MODEL S	150
TESLA MODEL X	98
NISSAN LEAF	66 + 6 = 72
RENAULT ZOE	60
HYUNDAI IONIQ	55
BMW I3	24
VOLKSWAGEN GOLF	21
KIA SOUL EV	11
VOLKSWAGEN UP!	5
NISSAN E-NV200	5 + 38 = 43
SMART FORTWO ED	3
MERCEDES-BENZ B 250 E	2
SMART FORFOUR ED	1
FORD FOCUS ELECTRIC	1
Yhteensä	502 + 44 = 546

Taulukon 2 ensirekisteröintejä tulkitessa on muistettava, että mukana on myös yksityisesti maahantuodut autot. Tämän takia ei voida täysin määrittää sitä, että ovatko kaikki vuonna 2017 ensirekisteröidyt sähköautot täysin uusia malleja, vai onko joukossa jo useamman vuoden vanhempia käytettyjä malleja. Kuitenkin kun verrataan ensirekisteröintitilastoa kaikkiin liikennekäytössä oleviin sähköautoihin, on selkeää, että ne automallit joita on yli 50 kappaletta tieliikenteessä, ovat aivan viime vuonna tai viime vuosina myytyjä, ja niitä tullaan myymään jatkossakin.

Teslan nykyinen asema taulukkojen kärjessä tulee todennäköisesti tulevaisuudessa vaihtumaan, koska suurella osalla autoilijoista ei ole varaa ostaa Tesloja. Teslan toistaiseksi halvin malli Model S 75 Business Economy maksaa liitteen 1 mukaisesti Suomessa yli 85 000 euroa. On arvioitu, että mikäli autonvalmistajat saavat markkinoille edullisia ja tyydyttävän ajosäteen omaavia sähköautoja, ne tulevat yleistymään nopeammin (Ewing 2017; Orrberg 2018). Esimerkiksi Renault Zoen voitaisiin ajatella olevan jo nyt tällainen auto, sillä siinä on 400 km:n NEDC-syklin mukainen ajosäde ja Zoen hinnat alkavat liitteen 1 mukaisesti noin 32 000 eurosta (Renault Suomi: Renault Zoe tekniset tiedot 2018).

Tämän vuoksi opinnäytetyössä on mielekästä tutustua Teslan lisäksi myös edullisempiin ”kansanauto”-malleihin, sekä jo kohtuullisen yleiseen pakettiautoon Nissan e-NV200, vaikka Teslat ovatkin opinnäytetyön kirjoitushetkellä rekisteröintitilastojen kärjessä.

Vaikka tunnetut valmistajat kuten Ford, Smart ja Mercedes-Benz valmistavat, tai ovat valmistaneet sähköautoja, on niiden lukumäärä Suomen tieliikenteessä todella vähäinen. Lisäksi esimerkiksi Smartin kysynnän ja myynnin voidaan olettaa olevan Suomessa jatkossakin heikko, vaikka valmistaja tarjoaakin Suomessa tällä hetkellä sähköautoja. Kathan taloudellisten intressien kannalta niiden autojen takia ei kannata tehdä tutkimusta, joita on vain muutama liikenteessä. Siksi kaikki ne sähköautot, joita on Suomen tieliikenteessä kirjoitushetkellä alle 50 kappaletta, on rajattu pois tarkastelusta. Tässä opinnäytetyössä tullaan siis keskittymään taulukon 3 automalleihin.

TAULUKKO 3. Opinnäytetyössä tutkittavat automallit ja näiden mallien vuoden 2017 lopussa liikennekäytössä olevien autojen lukumäärät

Automalli	LKM
TESLA MOTORS MODEL S *	524
NISSAN LEAF *	409
NISSAN E-NV200 *	161
TESLA MOTORS MODEL X	129
RENAULT ZOE	63
BMW I3	61
HYUNDAI IONIQ	57
VOLKSWAGEN GOLF	54

*) luvussa mukana henkilö- ja pakettiautot

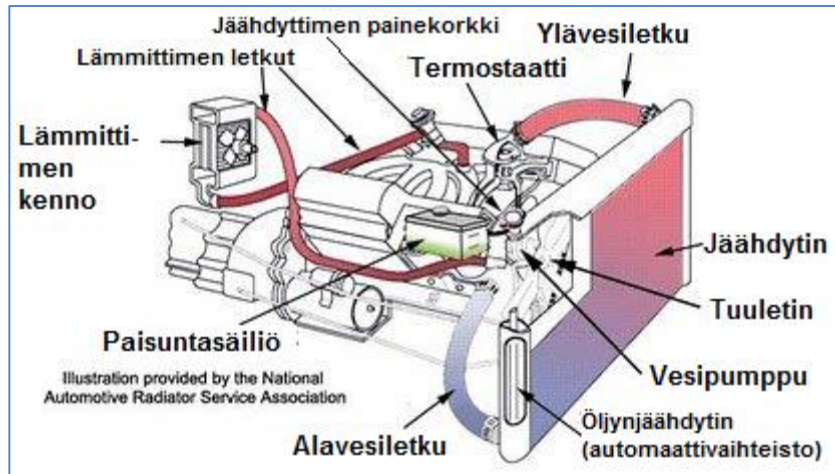
3 SÄHKÖAUTOJEN SISÄTILOJEN JA AKUSTON LÄMMÖNHALLINTA

Akuston lämmönhallinta on tärkeä osa sähköauton toimintaa. Koska kaikissa akuissa on aina akkukemiasta johtuvia, lämmön tuotantoon liittyviä sisäisiä prosesseja, akut tuottavat lämpöä aina luovuttaessaan tai vastaanottaessaan virtaa. Monet akkujen ikääntymistä edistävät prosessit liittyvät suoraan korkeaan lämpötilaan. Ylikuumeneminen on siksi ongelma, jota pyritään välttämään. Pahimmillaan ylikuumeneminen voi johtaa litium-ioniakun lämpökarkaamiseen. Lämpökarkaaminen on akkujen sisäisessä kemiallisessa prosessissa pysäyttämätön lämmöntuotannon nousu, joka yleensä johtaa tulipaloon tai räjähdykseen (Electropaedia n.d.). Tämän estämiseksi akustoa valvotaan akuston valvontajärjestelmällä eli BMS:llä. (Bosch 2014, 1139).

BMS seuraa akuston ja yksittäisten kennojen jännitettä, virtaa ja lämpötilaa, ja ohjaa näiden perusteella muun muassa akuston jäähdytystä. Jäähdytys voi olla toteutettu kolmella eri tavalla: nestejäähdytyksellä, ilmajäähdytyksellä tai kylmäainekiertoon perustuvalla jäähdytyksellä. Valvontajärjestelmän ehkäpä tärkeimpänä tehtävänä on varmistaa, ettei akuston lämpötila kasva liian korkeaksi akuston suojaamiseksi. Liian kylmä akuston lämpötila ei ole myöskään hyvä toiminnan kannalta, koska monet akun sisäiset kemialliset reaktiot hidastuvat kylmässä lämpötilassa, eikä akku siis pysty luovuttamaan virtaa tai vastaanottamaan sitä riittävän nopeasti. Hyvän toiminnan takaamiseksi BMS pitää akuston lämpötilan ajon aikana tyypillisesti + 20 ja + 40 °C:n välillä. (Bosch 2014, 1139–1141). Esimerkiksi sähköauton pikalataus tai jarrutusenergian talteenotto eivät ole siis mahdollisia, jos akusto on liian kylmä.

Akusto ei ole ainoa sähköauton ajossa lämpöä tuottava kokonaisuus. Vaikka sähköauton akusto ja sähköisen tehonsiirron komponentit toimivatkin hyvällä hyötysuhteella polttomoottoriin verrattuna, tuottavat nämä komponentit hukkalämpöä, ja usein niitä tulee jäähdyttää. Esimerkiksi ajomoottorin ja invertterin tuottamaa lämpöä olisi mielekästä käyttää siellä missä lämpöä tarvitaan, eli kylmissä olosuhteissa akuston ja sisätilojen lämmitykseen. Koska sähköisen tehonsiirron komponenteilla on ajoneuvokäytössä McKinsey & Companyn (2017) mukaan aina nestejäähdytys, voitaisiin ajatella että nestekierto voitaisiin ohjata sisätilojen lämmitykseen lämmittimen kennon avulla, aivan kuten polttomoot-

toriautoissa. Tämä ajatus on mahdollinen, mutta ei käytännössä toimiva kuten alla esitetään. Perinteisen polttomoottoriauton sisätilojen lämmityksen periaate on esitetty kuviossa 1.



KUVIO 1. Perinteisen auton jäähdytys- ja sisätilojen lämmitysjärjestelmä (ACpro-cold.com n.d., muokattu)

Kuvion 1 mukaisessa järjestelmässä polttomoottorin tuottama hukkalämpö johdetaan jäähdytysnesteen kierron avulla lämmittimen kennolle. Lämmittimen kennon läpi puhalletaan ilmaa, jolloin lämpö siirtyy pakotetulla konvektiolla auton sisätiloihin (Nikowitz ym. 2016, 137).

Vaikka sähköisen tehonsiirron komponentit tuottavat lämpöä, ne eivät kuitenkaan Apfelbeckin ja Barthelin (2013), Nikowitzin ym. (2016, 137), sekä Doylen (2017, 125) mukaan tuota hukkalämpöä riittävästi, jotta auton sisätiloja voitaisiin lämmittää vastaavalla tavalla kuin polttomoottoriautoja. Tämän vuoksi sähköautojen sisätiloja täytyy lämmittää jonkin ulkoisen lämmönlähteen avulla. Vaihtoehtoja on Nikowitzin (2016, 137) mukaan kolme: sähkölämmitys PTC-vastuksella, lämpöpumppu, tai CO₂-neutraali polttoainekäyttöinen lämmitin.

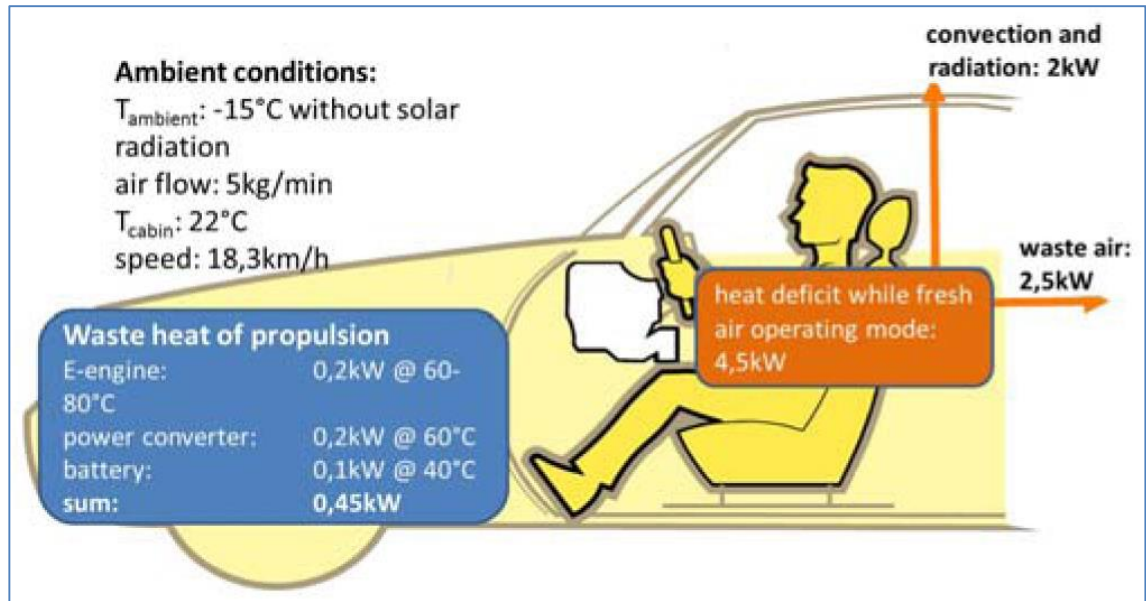
Apfelbeckin ja Barthelin (2013) mukaan sähköautoissa olisi näiden lisäksi mahdollista käyttää myös muita lämmitysvaihtoehtoja, kuten esimerkiksi lämpöakkuja. Lämpöakun ja muiden sovellusten ongelma on tosin se, että ne eivät ole täysin itsenäisiä ajasta ja paikasta riippumattomia lämmityssovelluksia, vaan pikemminkin energiaa säästäviä

avustavia järjestelmiä. Yhdessäkään tämän hetkessä tai lähitulevaisuudessa tuotettavassa sähköautossa ei vaikuttaisi olevan muita lämmitysjärjestelmiä, kuin Nikowitzin mainitsemat.

Sisätilojen lämmityksessä käytetään luvussa 8 esitellyissä autoissa tavallisesti sähkölämmitystä PTC-vastuksella, tai sitten ilmalämpöpumpun ja PTC-lämmittimen yhdistelmää. PTC-vastus on joko upotettu nestekiertoön ja osana sisätilojen lämmityksen nestekiertoa, tai sitten lämmitin toimii itse suoraan ilmasta ilmaan-tyyppisenä lämmönvaihtimena (Bosch 2014, 1374). Lämpöpumpullisessa sähköautossa PTC-lämmitin on tarkoitettu ilmeisesti todella kylmiä olosuhteita varten. Nikowitzin mainitsema polttoainekäyttöinen lämmitin on hieman harvinaisempi, mutta alaluvun 3.5 mukaisesti jonkin verran käytetty ratkaisu.

Sähköautot hyödyntävät myös useita erilaisia pintalämmittäjiä, kuten istuinlämmittimet ja ratin lämmitin. Lisäksi useasta sähköautosta löytyy esilämmitysmahdollisuus latauksen yhteydessä. Esilämmitys tuo käyttömukavuutta ja pidentää auton ajosädettä, sillä sisätilojen lämmitykseen tarvittava energia otetaan latauksen aikana suoraan sähköverkosta, eikä auton akustosta. Esilämmitys tuo lisää ajosädettä, koska valmiiksi lämmitettyjen sisätilojen pitämiseen lämpimänä tarvitaan vähemmän energiaa kuin kylmien tilojen lämpimäksi saamiseen. Käyttäjä pystyy monissa malleissa ajastamaan esilämmityksen niin, että liikkeelle lähdettäessä akku on täyteen ladattu ja sisätilat ovat lämpimät. (Vihreäkaista n.d.)

Apfelbeckin ja Barthelin (2013) mukaan keskikokoisen henkilöauton sisätilojen lämmön-
tarve -15 °C lämpötilassa voi olla $4,5\text{ kW}$, kun sisätilat halutaan pitää 22 °C lämpötilassa, ja raitisilmakierto on päällä. Kuvio 2 havainnollistaa sähköisen tehonsiirron komponenttien hukkalämpöä ja kaupunkiajossa sisätiloihin tarvittavaa lämpöä. Lämmönhukkumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat auton koon lisäksi raitisilmakierron käyttö, ajoneuvon nopeus, auringon säteilyn voimakkuus, sisätilojen haluttu lämpötila, ilman virtausnopeus sisätiloihin ja sieltä pois, sekä sisätilojen lämpöeristys.

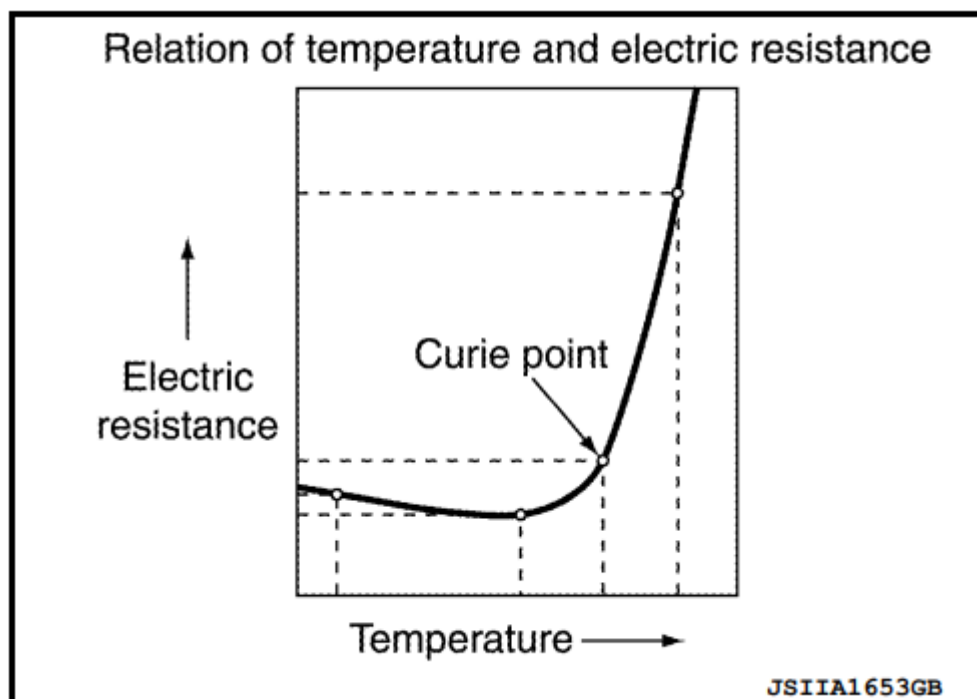


KUVIO 2. Sähköauton keskimääräinen lämmön hukkuminen kaupunkiajossa -15 °C ympäristön lämpötilassa (Apfelbeck & Barthel 2013.)

Henkilöauton sisätilojen lämmityksen tarve on kuvion 2 mukaisesti samaa kokoluokkaa kuin luvussa 4 esitettävien Webasto-lämmittimien maksimiteho. Yksittäinen polttoainekäyttöinen lämmitin soveltuisi siis lämmitystehon tarpeeseen verrattuna hyvin sähköauton sisätilojen lämmittämiseen.

3.1 Lämmitys sähkövastuksella

Yksinkertaisimmillaan sähköauton sisätilojen lämmitys on toteutettu siis PTC-vastuksella. Vastus muuttaa kaiken käyttämänsä sähköenergian lämmöksi ja se on suhteellisen yksinkertainen ja halpa keino lämmittää. Lämmitin toimii yksinkertaistettuna siten, että kun PTC-vastuksen läpi syötetään sähkövirtaa, se lämpenee. PTC tulee sanoista Positive Temperature Coefficient, eli positiivinen lämpötilakerroin. Tämä tarkoittaa sitä, että kun vastuksen lämpötila kasvaa, myös sen resistanssi kasvaa. Kun vastuksen lämpötila saavuttaa tietyn pisteen (Curie-lämpötilan), vastuksen resistanssi kasvaa äkkinäisesti. Kasvanut resistanssi rajoittaa vastuksen läpi kulkevan virran suuruutta, ja estää sen ylikuumenemisen. PTC-vastus pitää yllä tasaisen lämpötilan. (Nissan HAC 2014, 227). PTC-vastuksen resistanssin muutos lämpötilan suhteen ja mainittu Curie-piste on esitelty kuviossa 3.



KUVIO 3. PTC-vastuksen resistanssi lämpötilan funktiona (Nissan HAC 2014, 227)

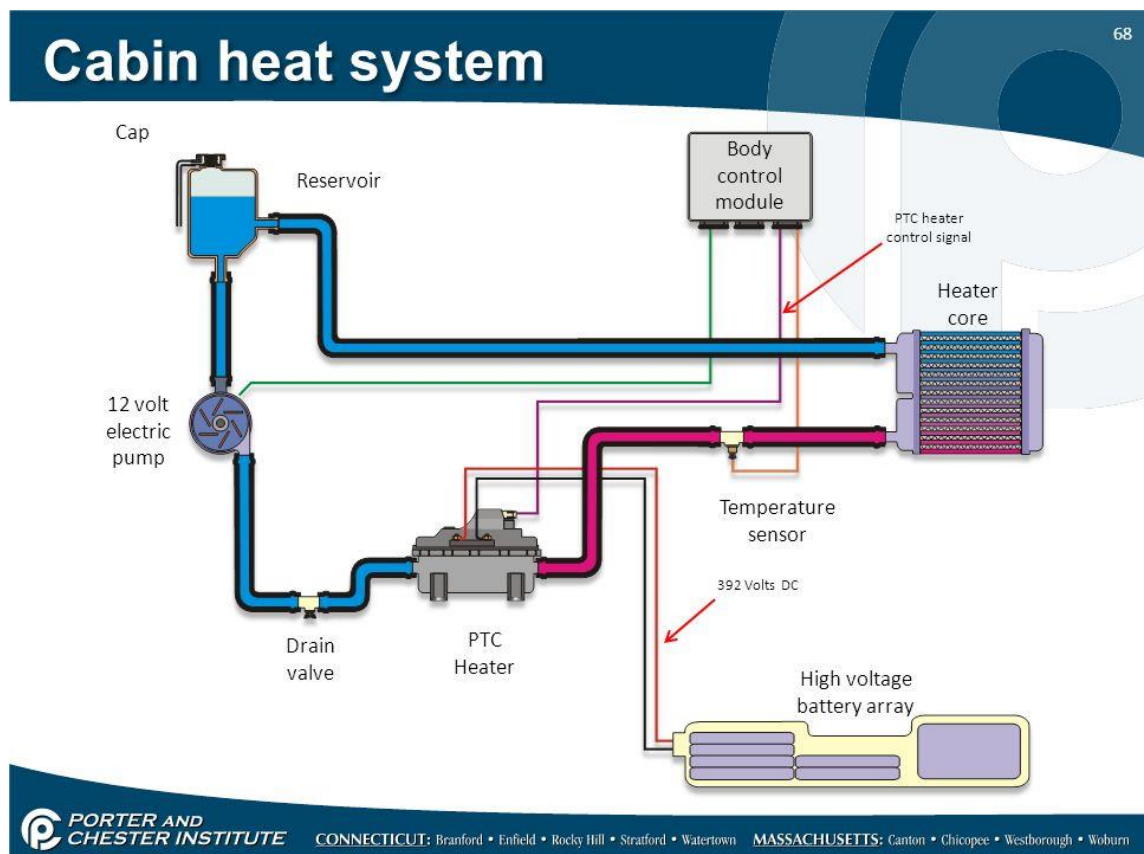
Vaikka tällaisen ratkaisun valmistaminen on kustannustehokasta ja yksinkertaista, ja vaikka PTC-vastus muuttaa sähkön lämmöksi lähes 100 % hyötysuhteella, sen ongelmana on energiatehokkuus: kylmässä ajettaessa sisätilojen lämmityskäyttö on suorassa suhteessa ajosäteestä pois. Esimerkiksi ensimmäisissä (2010–2012) Nissan Leafeissa oli nimelliskapasiteetiltaan 24 kWh akusto ja nimellisteholtaan 5 kilowatin PTC-lämmitin (Porter and Chester Institute n.d.). Jos tätä lämmitintä jouduttaisiin käyttämään täydellä teholla esimerkiksi kaksi tuntia, olisi kulutettu sähköenergia 10 kWh. Tämä on merkittävä osa, yli 40 prosenttia akuston nimelliskapasiteetista.

Sähköauton talviajosädettä ei myöskään helpota se, että ajovastukset kasvavat talvikeleissä kesään verrattuna ilmanvastuksen ja vierinvastuksen kasvun myötä (Kemppainen 2013). Lisäksi kylmään akuston lämpötilaan voi liittyä haasteita. Ajosäde voikin olla PTC-lämmitetyssä sähköautossa talvella jopa puolet kesäajan ajosäteestä. (Kemppainen 2013; Virtanen 2014; Helsingin Uutiset 2014).

PTC-vastuksella voidaan lämmittää joko sisätilojen lämmityksen jäähdytysnestekiertoa, tai sitten vastus voi toimia suoraan ilmasta-ilmaan tyypisenä lämmönvaihtimena.

3.1.1 Nestekiertoa lämmittävä sähkövastus

Ensimmäisten Nissan Leafien sisätilojen lämmitykseen käytettiin vuosien 2010–2012 malleissa jäähdytysnestekierron lämmitystä 5 kW tehoisella PTC-vastuksella. (Porter and Chester institute n.d.). Nissanin lämmitysjärjestelmästä on hyvä havainnollistaa yleisellä tasolla nestekiertoisen lämmityksen periaatetta ja järjestelmän rakennetta. Järjestelmä on melko yksinkertainen jäähdytysnestekierto, jonka komponentteja ovat sähköinen vesi-pumppu, PTC-lämmitin, lämmittimen kenno, sekä paisuntasäiliö. Ohjainlaite säätelee komponenttien toimintaa lämpötilamittauksen perusteella. PTC-lämmitin on asennettu neste-kiertoon ennen lämmittimen kennoa, kuvion 4 mukaisesti.

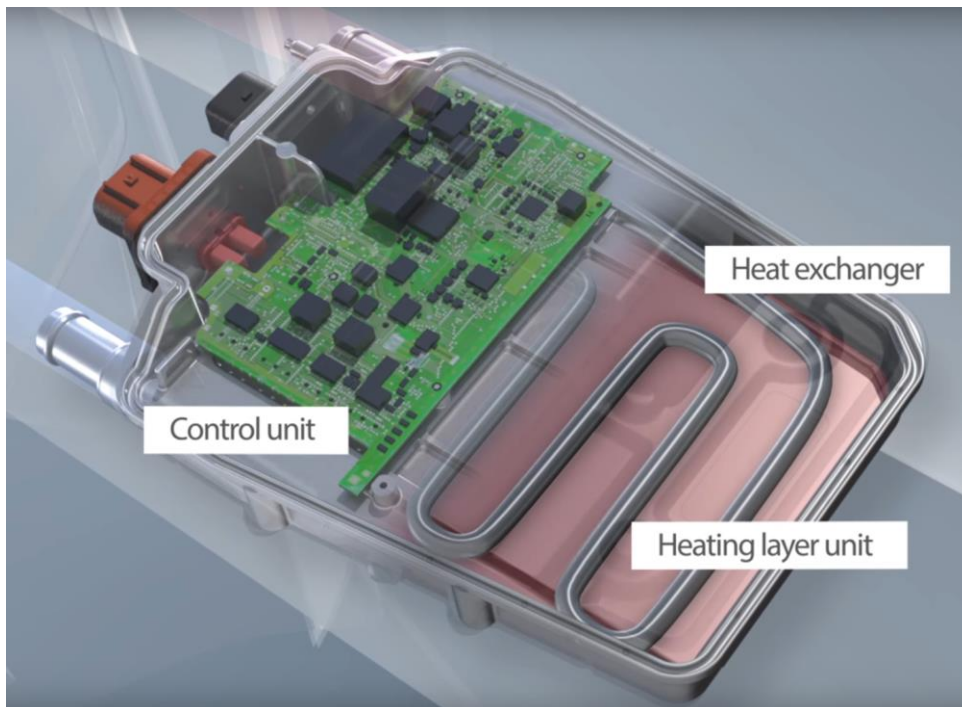


KUVIO 4. Nissan Leaf 2011 sisätilojen lämmitysjärjestelmä (Porter and Chester Institute n.d.)

PTC-lämmittimen käytettävä virta otetaan korkeajännitteisenä suoraan auton akustosta, ja virran määrää ohjataan ilmastoinnin ohjainlaitteen kautta pulssinleveysmodulaatiolla, eli PWM-signaalilla (Nissan HAC 2014, 227). PTC-vastus voi tosin olla myös matalajännitteinen, jolloin siitä ei saada yhtä paljon tehoa kuin korkeajännitteisestä vastuksesta

(Apfelbeck & Barthel 2013). Kuten mainittua, puhallinmoottori siirtää lämmön kennolta sisätiloihin vedestä-ilmaan periaatteella.

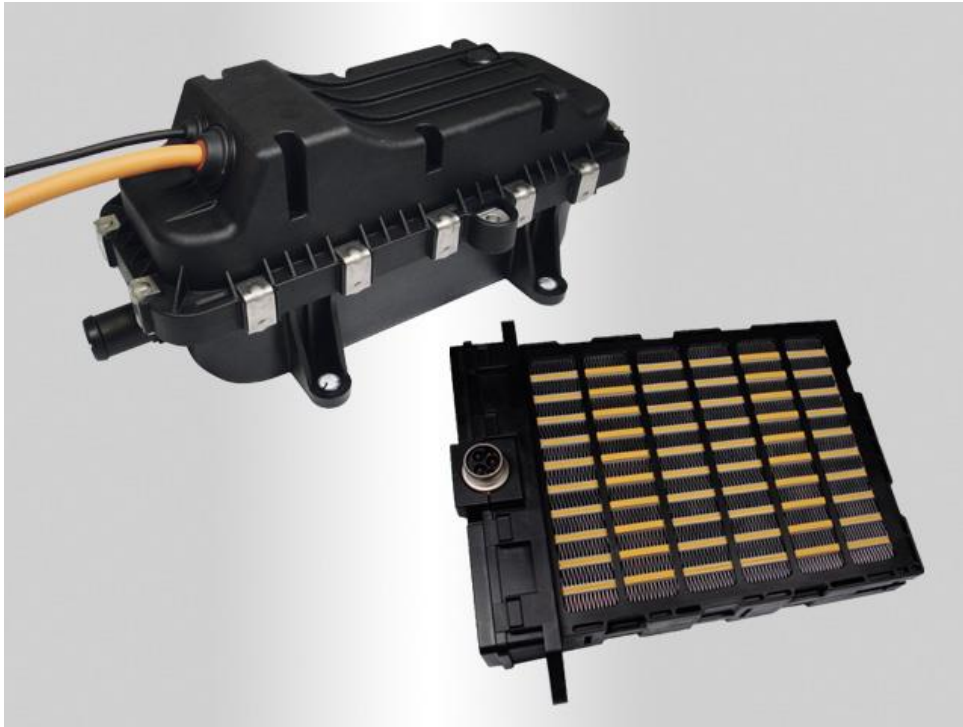
Webasto valmistaa myös vesilämmittimiä sähkö- ja hybridautoihin (kuva 1). Lämmittimiä saa kolmessa teholuokassa: 5 kW, 7 kW ja 10 kW. (Webasto Group 2018). Kauppanimi näille lämmittimille on HVH (High Voltage Heater), ja niissä käytetään PTC-vasuksista hieman poikkeavaa kerroslämmitystekniikkaa. Tekniikalla saadaan aikaan monia etuja, kuten pieni koko ja paino, sekä tehokkaampi lämmönsiirto (Hainzmaier, Requeiro & Lappe 2015). Lämmittämisen perusajatus on PTC-vastuslämmitykseen verrattuna kuitenkin sama.



KUVA 1. Kuvakaappaus Webaston HVH-lämmittimen esittelyvideosta (Webasto HVH heater 2015)

3.1.2 Ilman lämmitys sähkövastuksella

Kuvassa 2 on Webaston kilpailijan Eberspächerin valmistamia sähköautojen sisätilojen lämmittimiä. Ylempi on tarkoitettu veden lämmitykseen ja alempi ilman lämmittämiseen.



KUVA 2. Eberspächerin sähköisiä lämmittimiä sähkö- ja hybridautokäyttöön (Eberspächer 2018)

Sisätilojen lämmitys sähkövastuksella voidaan toteuttaa siis turvallisesti myös suoraan ilmasta-ilmaan periaatteella. Tällöin nesteen lämpenemistä ei tarvitse kylmästä lähdettäessä odotella ja sisätiloihin saadaan lämmintä ilmaa nopeasti. PTC-ilmalämmitystä käytetään useissa sähkö- ja hybridautoissa sisätilojen ylimääräiseen lämmitykseen erittäin kylmissä olosuhteissa. Hybrideissä PTC-vastuksen käyttö tavanomaisen nestekiertoisen lämmityspiirin ohella mahdollistaa lämmöntuoton myös silloin, kun auto seisoo liikennevaloissa paikoillaan ja polttomoottori on pois päältä. (Bosch 2014, 1374). Joissakin sähköautoissa, kuten Tesla Model X:ssä, sisätilojen lämmitys on ratkaistu kokonaan ilmasta-ilmaan PTC-lämmittimellä (Tesla Body Repair Tech Note 2017, 4).

Molemmilla nestettä tai ilmaa lämmittävillä PTC-vastuksilla on hyvät ja huonot puolensa. Nestettä lämmittävän PTC-järjestelmän etuihin voidaan laskea se, että useat komponentit, kuten paisuntasäiliö ja lämmittimen kenno voidaan ottaa suoraan valmistajan tuotevalikoimasta (MHI Technical Review, 2017). Järjestelmää voidaan kuitenkin kritisoida siitä, että jäähdytysnesteellä on korkea ominaislämpökapasiteetti. Tämä tarkoittaa lämmityskäytössä sitä, että nesteen lämmittäminen vaatii paljon energiaa ja kuumeneminen tapahtuu hitaammin kuin ilman lämmittämisessä. Jäähdytysnesteet ovat tyypillisesti vesipoh-

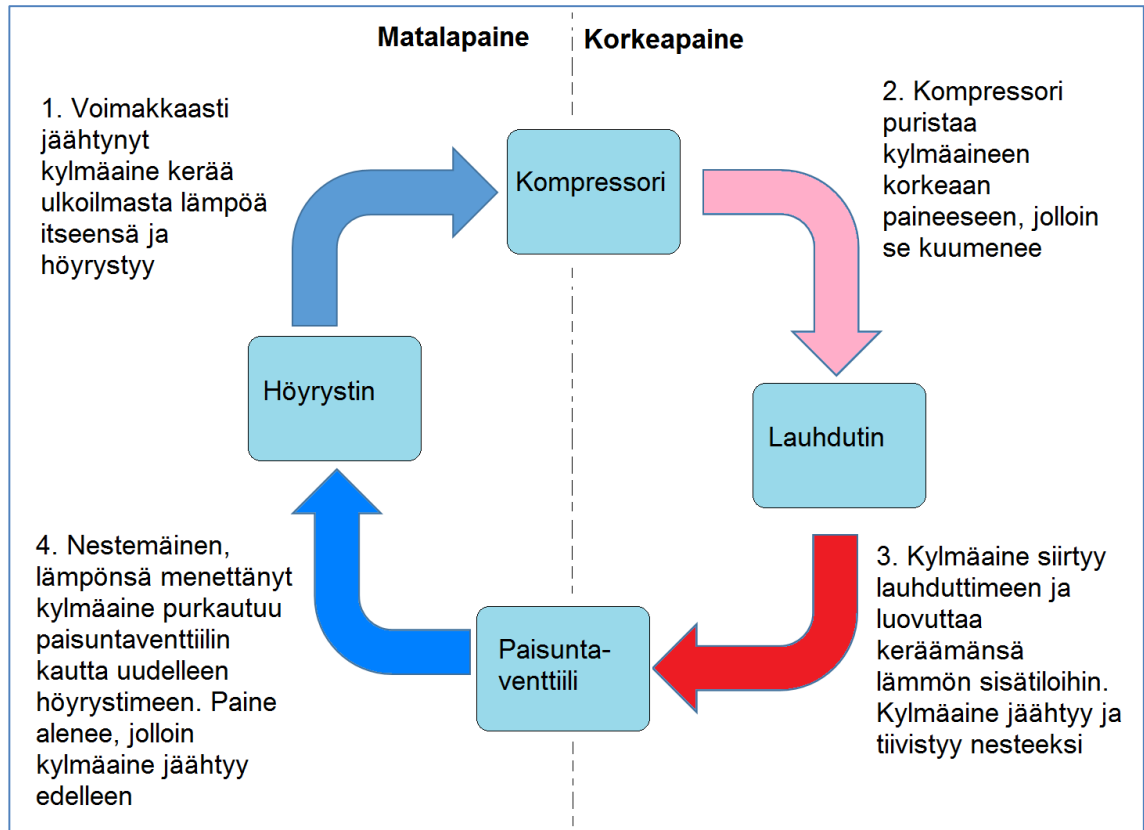
jaisia etyleeniglykoliseoksia (Bosch 2014, 469) ja pelkälle vedelle ominaislämpökapasiteetti (tunnus c) on noin 4,2 kJ/kg°C (Motiva Laskukaavat: Lämmin käyttövesi 2017). Vaikka veden ja etyleeniglykolin seoksen ominaislämpökapasiteetti voi olla alhaisempi kuin pelkälle vedelle, korkea ominaislämpökapasiteetti tarkoittaa, että lämmön siirtäminen jäähdytysnesteeseen ja siitä sisätiloihin vaatii tehoa ja se kestää jonkin verran pidempään kuin ilman lämmittäminen, jos autolla lähdetään liikkeelle kylmästä.

Toisaalta vain sisätiloille tehdyn nestekierron tilavuus ei ole kovin suuri ja esimerkiksi ensimmäiselle Nissan Leafille ominaisella 5 kW teholla neste lämpenee melko nopeasti. Lämmön siirtäminen veden avulla on kustannustehokasta ja helppo toteuttaa. MHI:n mukaan (MHI Technical Review 2017) nesteen lämmittäminen on turvallista, sillä jäähdytysneste toimii sähkölämmittimen mahdollisissa vikatilanteissa äkillisen tulipalon tai kipinöinnin kannalta sammutusaineena. Korkea ominaislämpökapasiteetti tarkoittaa myös tasaista lämmöntuottoa, ja ettei nopeita vaihteluita lämmöntuotossa synny. Kunhan vesi saadaan lämpimäksi, se ei siis hukkaa lämpöään nopeasti.

Ilmaa lämmittävä PTC-lämmitin voidaan taas sijoittaa kustannustehokkaasti pieneenkin tilaan. Energiansäästöjä voidaan saada aikaiseksi käyttämällä useampia lämmittimiä ja säätämällä esimerkiksi ainoastaan kuljettajan paikalle lämpöä, kun matkustajia ei ole kyydissä. (Aofelbeck & Barthel 2013). Sippolan (2018) mukaan esimerkiksi Hyundai Ioniq:ssa on tällainen lämmitysjärjestelmä.

3.2 Lämpöpumput

Lämpöpumput ovat talotekniikassa suosittuja lämmitysenergian kulutusta vähentäviä laitteita, jotka toimivat samalla periaatteella kuin tavanomainen jääkaappi. Lämpöpumppu siirtää lämpöä lämmitettävään tilaan ulkoilmasta, tai jääkaapin tapauksessa lämpö siirretään viilennettävästä tilasta sen ulkopuolelle. Lämpöpumppujen toiminta perustuu kylmäainekierto, sekä kylmäaineen olomuodon muutokseen kaasusta nesteeksi ja takaisin nesteestä kaasuksi. (Perälä 2009, 30). Järjestelmän toiminnan kannalta keskeisimmät osat ovat höyrystin, kompressori, lauhtutin ja paisuntaventtiili. Lämpöpumppujärjestelmä on yksinkertaisimmillaan kuvion 5 mukainen ilmalämpöpumppujärjestelmä.



KUVIO 5. Ulkona olevan höyrystimen ja sisätiloissa olevan lauhduttimen välillä kiertävä kylmäaine kerää ulkotilasta lämpöä ja siirtää sen sisätiloihin

Ilmalämpöpumppujärjestelmä toimii seuraavasti: höyrystimeen vapautuneella kylmäaineella on alhainen paine ja alhainen lämpötila. Kylmäaine kerää itseensä ulkoilmasta lämpöä, jolloin se höyrystyy (1). Tämän jälkeen kompressori puristaa kaasuntuneen kylmäaineen korkeaan paineeseen (2), jolloin se kuumenee. Perälän (2009, 30) mukaan kylmäaineen lämpötila voi olla 100 °C kompressorin jälkeen. Kuumentunut höyrymäinen kylmäaine kulkeutuu lämmitettävien sisätilojen yhteydessä olevaan lauhduttimeen, jossa se luovuttaa keräämänsä lämmön sisätiloihin (3). Kylmäaine jäähtyy niin paljon, että se tiivistyy takaisin nesteeksi. Nestemäisen kylmäaineen annetaan tämän jälkeen purkautua paisuntaventtiilin läpi uudelleen höyrystimeen (4). Paisuntaventtiili saa aikaan äkillisen paineen alenemisen, jolloin kylmäaine jäähtyy entisestään. Perälän (2009, 30) mukaan kylmäaine jäähtyy alimmillaan noin -20 °C lämpötilaan. Höyrystimeen vapautunut kylmäaine alkaa taas kerätä lämpöä ulkoilmasta itseensä ja kierto alkaa uudelleen. (Perälä 2009, 30). Usein lämpöpumppujen toiminta on käännettävissä, mikä tarkoittaa sitä että lämpöä voidaan siirtää jääkaapin tapaan sisätiloista ulkotiloihin. Muutos toteutetaan ne-

litieventtiilillä, joka vaihtaa kylmäaineen kiertosuunnan vastakkaiseksi. Kuvion 5 sisätiloissa oleva kenno muuttuukin silloin piirissä höyrystimeksi ja ulkona oleva kenno lauhduttimeksi. Toimintaperiaate on kuitenkin lähtökohtaisesti sama.

Lämpöpumppujen toiminnan tehokkuutta kuvaa sen lämpökerroin, eli COP (Coefficient of Performance). COP-arvo kertoo, kuinka moninkertaisen määrän energiaa lämpöpumppu tuottaa kuluttamaansa energiaan verrattuna. Teoreettisesti lämpökerroin lasketaan pumpun lämmön keruu ja luovutuslämpötiloista. Luovutuslämpötilan (T_2) arvo jaetaan luovutus- ja keruulämpötilojen (T_1) erotuksella yhtälön (1) mukaisesti:

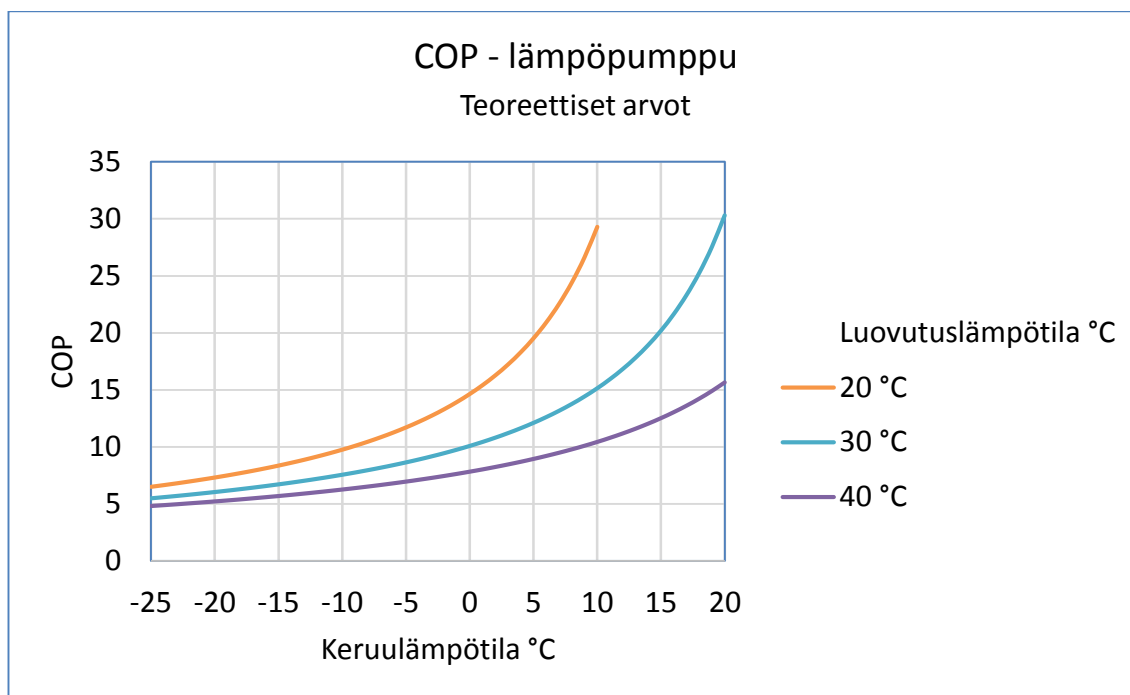
$$\text{COP} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad (1)$$

Lämpötilojen tulee olla tässä yhtälössä Kelvineinä. Jos esimerkiksi rakennukseen asennettu lämpöpumppu kerää lämpöä $0\text{ }^\circ\text{C}$ (273 K) ulkotiloista ja luovuttaa sen sisätiloihin lämpötilassa $+50\text{ }^\circ\text{C}$ (323 K), on COP-arvo silloin noin 6,46. Tämän arvon mukaisesti lämpöpumppu pystyisi tuottamaan jokaista kuluttamaansa kilowattituntia kohden 6,46 kWh lämpöenergiaa. Näin sisätilojen lämmitykseen käytettäisiin 1 kWh sähköverkosta peräisin olevaa energiaa ja loput 5,46 kWh olisivat ”ilmaista” ulkotiloista kerättyä lämpöenergiaa. (Perälä 2009, 32.)

Teoreettinen lämpökertoimen laskenta tuottaa kuitenkin käytännössä liian optimistisia arvoja, sillä laskennassa oletetaan kompressorin ja muiden lämpöpumpun laitteiden toimivan täydellä 100 % hyötysuhteella. Lisäksi lämmön mittaaminen lauhduttimesta tai höyrystimen pinnalta ei anna oikeata kuvaa kylmäaineen lämmöstä, koska paisuntaventtilin jälkeen kylmäaineen lämpötila on aina alhaisempi kuin myöhemmin höyrystimen keruuputkistossa, jossa lämpö varsinaisesti kerätään. Lisäksi kuumentuneen kylmäaineen lämpötila heti kompressorin jälkeen on kuumempi, kuin se lämpötila, joka saadaan siirrettyä hyödyksi sisätiloihin. COP-kerrointa 3 voidaan pitää käytännön sovelluksille hyvänä arvona. (Perälä 2009, 32).

Vaikka lämpökertoimen teoreettinen laskenta ei vastaa täysin todellisuutta, voidaan siitä kuitenkin todeta seuraava seikka: mitä pienempi keruu- ja luovutuslämpötilojen erotus on, sitä suurempi lämpökertoimen arvo on. Hyötysuhde siis paranee, jos ympäristön läm-

pötila on vakio ja sisätiloihin asetetaan vähemmän lämpöä. Samalla periaatteella ajateltuna on oltava niin, että kun keruulämpötila, eli ilmalämpöpumpussa ulkoilman lämpötila, laskee alemmaksi, COP-kerroin pienenee. Teoreettiset lämmönkeruusuhteet ulkoilman lämpötilan funktiona eri luovutuslämpötiloille on esitetty kuviossa 6.



KUVIO 6. Lämpöpumppujen teoreettiset COP-kertoimet keruulämpötilan funktiona eri luovutuslämpötiloille

Välillä COP-arvoa tärkeämpää on tietää laitteen lämmitysteho halutussa lämpötilassa. Kotikäyttöön tarkoitettut 9- ja 12-sarjojen ilmalämpöpumput ovat Scanofficen (2018) listauksessa maksimilämpöteholtaan noin 2,5 ... 3,5 kW tehoisia.

3.2.1 Pumpputyypit

Lämpöpumppuja jaotellaan niiden lämmönkeräystavan ja lämmönluovutustavan mukaisesti. Kaikkien pumpputyyppeiden toimintaperiaate on kuitenkin aiemmin selitetyn kaltainen: lämpöenergiaa kerätään ulkotiloista ja siirretään sisätiloihin. Etenkin rakennustekniikassa lämpöpumpputyyppejä on neljä: ilmalämpöpumppu (ILP), ilma/vesilämpöpumppu (kutsutaan myös ulkoilmalämpöpumpuksi, lyhenne UVLP), poistoilmalämpöpumppu (PILP) ja maalämpöpumppu (MLP).

Ilmalämpöpumppu on näistä pumpputyypeistä yksinkertaisin, sillä se kerää lämpöä ulkoilmasta ja luovuttaa sen sisätilojen ilmaan. Ilma/vesilämpöpumppu luovuttaa ulkoilmasta keräämänsä lämmön vesivaraajaan, jolla voidaan lämmitellä rakennusta patteriverkoston kautta. Lisäksi UVLP:llä voidaan lämmitellä käyttövettä. Poistoilmalämpöpumppu on tarkoitettu koneellisella ilmanvaihdolla varustettuihin rakennuksiin, joissa on lakivaihtimusten vuoksi tehokas ilmanvaihto. Keräämällä muuten hukkaan menevä lämpö poistoilmasta saadaan aikaan merkittäviä energiansäästöjä. Maalämpöpumppu hyödyntää rakennuskäytössä maasta tai vedestä ympäri vuoden saatavan lämmön, ja siirtää sen sisätiloihin. (Perälä 2009, 35–36).

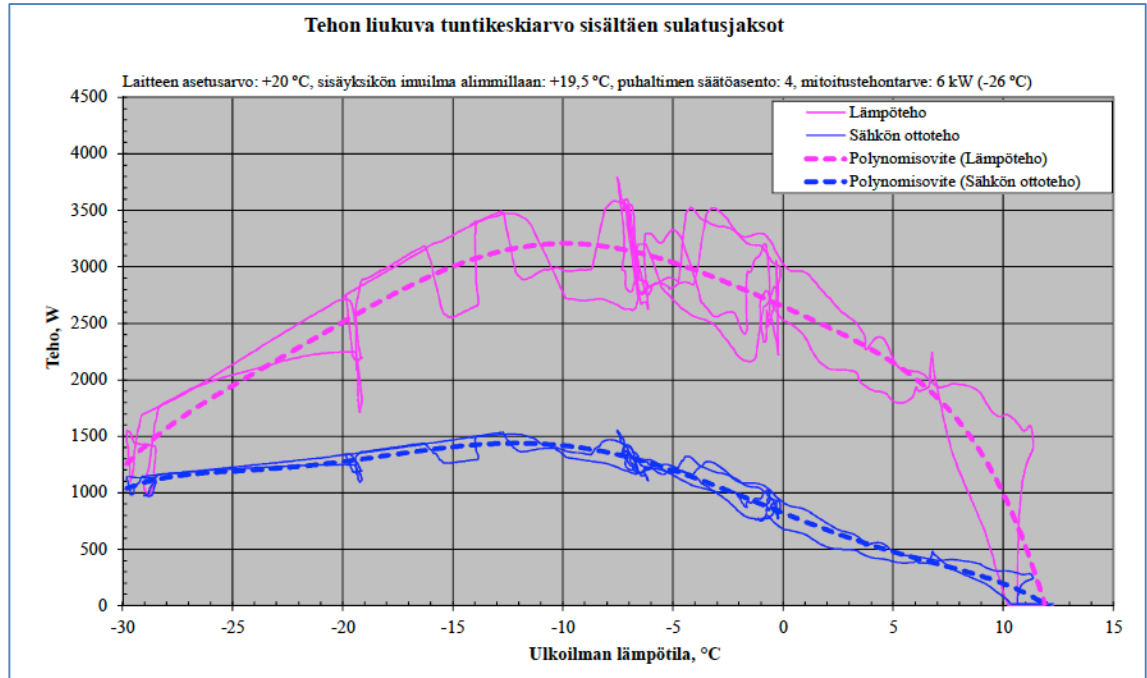
Ilmalämpöpumppu on näistä lämpöpumppuratkaisuista sopivin ajoneuvokäyttöön, koska siinä samaa piiriä voidaan hyödyntää jäähdytys- ja lämmityskäyttöön. Lisäksi ilmalämpöpumpussa asennettavuutta ajoneuvokäyttöön ei ole muilla tavoilla rajoitettu, kuten esimerkiksi rakennuskäytön maalämpöpumpussa. Myös ilma/vesilämpöpumpun kaltaista tekniikkaa käytetään ajoneuvoissa.

3.2.2 Ilmalämpöpumppu

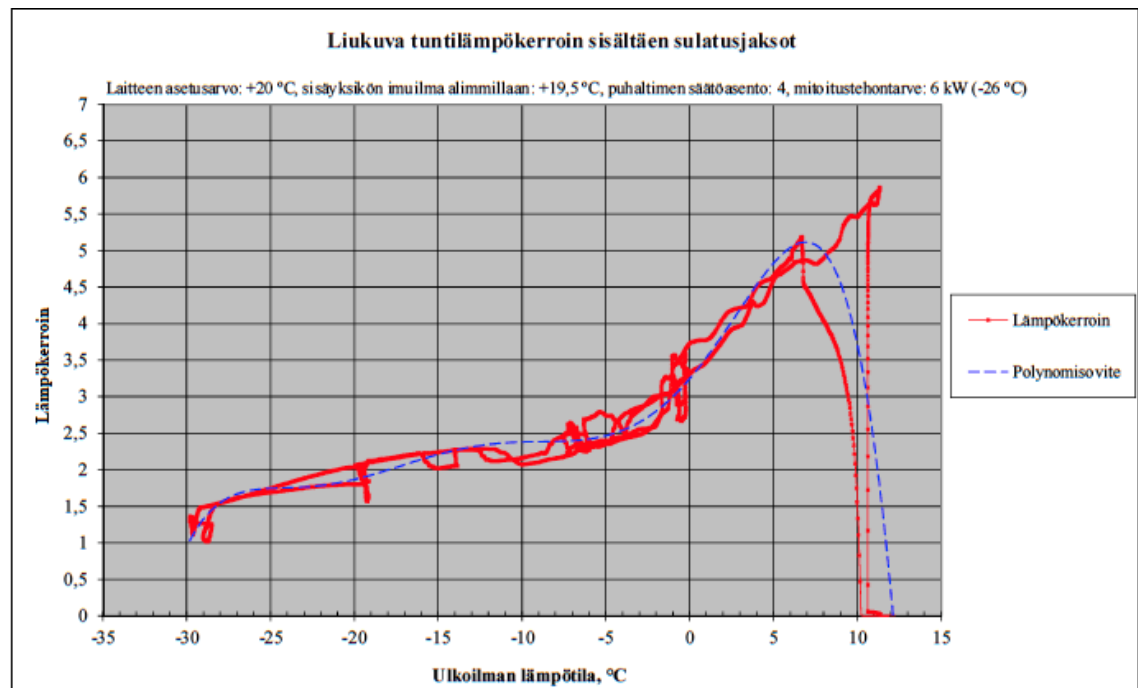
Ilmalämpöpumppu on yksinkertaisin lämpöpumppu, joka kerää sisätiloihin saatavan lämmön suoraan ulkoilmasta ja luovuttaa sen sisäilmaan. Talotekniikassa tällainen pumppu on yksinkertainen ja halpa asentaa. Laitteisto koostuu kahdesta yksiköstä, jotka sijaitsevat rakennuksen sisä- ja ulkopuolella. Käytännössä ilmalämpöpumput toimivat tehokkaasti nollakeleillä ja pienellä pakkasella. Kun pakkasella kiristyy, ilmalämpöpumpun lämpökerroin alenee nopeasti, ja Perälän (2009, 55) mukaan $-15 \dots -20 \text{ °C}$ lämpötiloissa ILP ei enää pysty keräämään ulkoilmasta lämpöenergiaa.

Tilanne vajaa 10 vuotta sitten rakennuskäytössä olevien pumppujen kanssa olikin tämä, mutta laitteiden ja ilmeisesti myös kylmäaineiden kehitys on saanut aikaan sen, että osa uusimmista ilmalämpöpumpuista kykenee toimimaan positiivisella lämpökertoimella vielä $-25 \text{ °} \dots -30 \text{ °C}$ pakkasella. Scanoffice Oy on testauttanut VTT:llä edustamiensa rakennuskäyttöön tarkoitettujen ilmalämpöpumppujen toimivuutta eri lämpötiloissa. VTT on tehnyt mittaukset laitteiden sähköenergian kulutuksesta sekä lämpöenergian tuotan-

nosta, ja sovittanut eri pumppujen toimintaa parhaiten kuvaavat käyrät näiden mittaustulosten pohjalta. (Scanoffice 2018). Esimerkki VTT:n mittaustuloksista eräälle ILP-tyypille on esitetty kuvioissa 7 ja 8.



KUVIO 7. Scanvarm 12-ilmalämpöpumpun sähköenergian kulutus ja lämpöenergian tuotto eri lämpötiloissa (Scanoffice 2018)



KUVIO 8. Scanvarm 12-ilmalämpöpumpun liukuva tuntilämpökerroin sisältäen sulatusjaksot (Scanoffice 2018)

Kuvioista 7 ja 8 voidaan nähdä, että testauksessa ollut ilmalämpöpumppu tuottaa lämpöä enemmän kuin mitä se itse ottaa lähes 30 pakkasasteeseen asti. Lämpökerroin kuitenkin putoaa jyrkästi lämpötilan laskiessa + 10 asteesta -5 asteeseen. Tästä kylmemmässä, eli välillä -5 ... -30 °C lämpökerroin on 2,5 ... 1,0 riippuen ympäristön lämpötilasta.

Kuvioiden 7 ja 8 käyrissä näkyvät piikit liittyvät pumpun kykyyn tunnistaa ulkoyksikköön kertyvä jää. Jos jäätä kertyy liikaa, ei lämmönvaihto ole optimaalista, ja pumpun teho ja COP-kerroin laskevat. Tunnistettuaan jäätä, pumppu kääntää kylmäaineen kierto-suunnan hetkellisesti vastakkaiseksi, jolloin ulkoyksikköön kertynyt jää sulaa. Jäätä kertyy aina, kun ilmankosteus ja lämpötila ovat sopivia. Tätä tapahtuu etenkin nollakeleillä. Mikäli ilmalämpöpumppua käytetään kesällä sisätilojen jäähdyttämiseen, sisäilmassa oleva kosteus tiivistyy silloin höyrystimenä toimivaan sisäyksikköön. (Perälä 2009, 57.)

Sulatusjakson jälkeen pumppu jatkaa sisätilojen lämmittämistä. Polynomisovitteisen käyrän muoto muistuttaa kuviossa 7 välillä -25 ... + 5 °C kuvion 6 teoreettisia käyriä. Eroja syntyy sulatusjaksojen lisäksi siitä, että kompressorin ja muiden apulaitteiden hyötysuhteet eivät ole 100 %. Tämä vuoksi teorian mukaista COP-kerrointa 5 on mahdotonta saavuttaa nykyisellä tekniikalla -25 °C lämpötilassa.

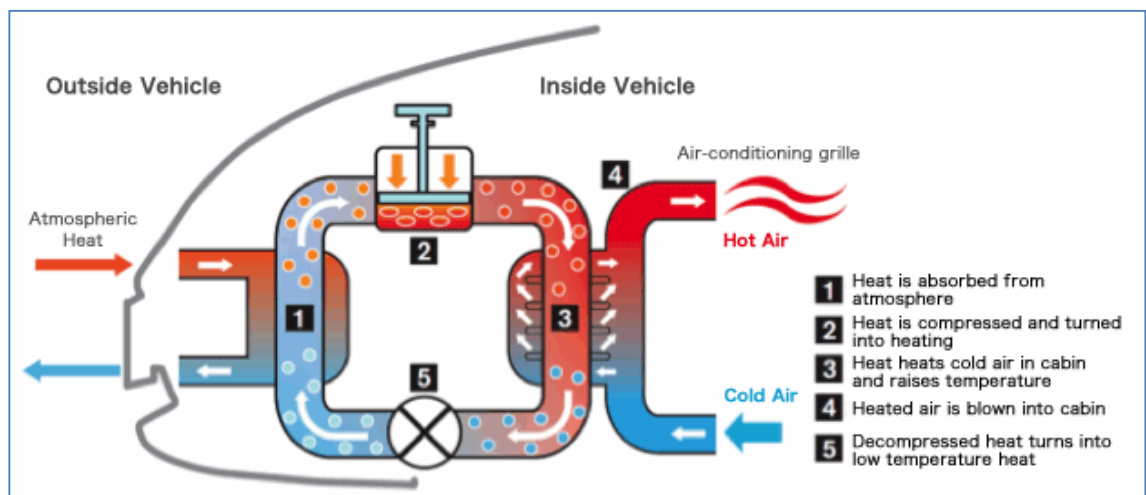
Ilmalämpöpumppujen käyttö kovilla pakkasilla voi aiheuttaa ongelmia, koska tietyn lämpötilan alapuolella COP-arvo on alle 1. Tällöin energiansäästön vuoksi olisi kannattavampaa lämmittää suoralla sähkölämmityksellä. Ilmalämpöpumpun sammuttaminen kovilla pakkasilla ei kuitenkaan välttämättä ole kannattavaa, jos se halutaan käynnistää uudestaan. Esimerkiksi MTV:n (2015) ja Ylen (2012) mukaan ilmalämpöpumpun sammuttaminen -30 °C pakkasilla ei välttämättä ole järkevää, koska joissakin laitteissa pakkasen lauhtumista tulisi odottaa -20 °C:n asti. Pumpun voi käynnistää vasta tätä lämpimämmässä lämpötilassa uudestaan aiheuttamatta vahinkoa laitteistolle. Lämpöpumpun ja käytetyn kylmäaineen ominaisuudet vaikuttavat paljon pakkasominaisuuksiin.

3.3 Ajoneuvojen lämpöpumppujärjestelmiin liittyviä huomioita

Koska ajoneuvokäyttöön tarkoitettut lämpöpumppujärjestelmät ovat kooltaan pienempiä ja asennukseen liikkuvaan ajoneuvoon liittyvä muutenkin haasteita, ei niiden voida olettaa

olevan yhtä tehokkaita kuin rakennuskäytössä olevien pumppujen. Lisäksi ajoneuvokäytössä jatkuva ILP:n käyttäminen yli $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ pakkasilla ei tietenkään ole samalla tavalla mahdollista kuten rakennuskäytössä. Boschin (2014, 1374) mukaan sisätilojen ilmastointi- ja lämmitysjärjestelmät vaikuttavat sähkö- ja hybridautojen energiankulutukseen useampien kilowattien kulutuksella, joten valmistajien tavoitteena on näiden järjestelmien hyötysuhteen parantaminen. Kehitystyötä tehdään ainakin ajoneuvokäyttöön sopivien kylmäaineiden ja kompressoreiden (Shi ym. 2016), sekä järjestelmien kehittämiseksi (Katayama ym. 2017). Järjestelmän toimivuus ei siis ole taattu kaikista kylmimmissä olosuhteissa, mutta useat valmistajat ovat tuoneet tällaisen laitteiston luvussa 8 esiteltyihin malleihinsa ja pystyneet kasvattamaan ilmoitettua ajosädetä aiempiin PTC-lämmitteisiin malleihinsa verrattuna.

Hyvä syy käyttää ilmalämpöpumppua on se, että sama järjestelmä saadaan venttiilejä ohjaamalla toimimaan kesällä ilmastointilaitteena. Ilmalämpöpumppujärjestelmä muistuttaaakin hyvin paljon perinteistä autojen ilmastointijärjestelmää. Järjestelmän yksinkertaistettu toiminta ajoneuvokäytössä on esitetty kuviossa 9.



KUVIO 9. Ilmalämpöpumpun toiminta ajoneuvokäytössä (Nissan Motor Corporation 2018)

Järjestelmän toimintaperiaate on kuvion 9 mukaisesti täysin sama kuin rakennuskäytössä olevilla ilmalämpöpumpuilla. Sähköautoissa ilmalämpöpumppu hyödyntää lämmitykseen samoja osia kuin kesällä viilennykseenkin. Esimerkiksi kompressori, ilmaputkistot ja puhallinmoottori ovat samoja.

3.3.1 Lämpöpumpun alin lämpötila ajoneuvokäytössä

Ilmalämpöpumpun toiminta heikkenee pakkasessa, eikä tietyn lämpötilan alapuolella rakennuskäytössä olevaa pumppua voi sammuttamisen jälkeen käynnistää uudelleen ilman komponenttien vaurioitumisriskiä. Jos pumpun COP-kerroin putoaa arvon 1 alapuolelle, on PTC-lämmittäminen hyötysuhteen ja ajosäteen kannalta parempi vaihtoehto. Siksi myös ajoneuvokäytössä ilmalämpöpumppujen yhteydessä on oltava PTC-lämmitys. Periaatteessa tämä ei olisi pakollista, jos pumpput pystyisivät toimimaan riittävän hyvin vaikkapa -30 °C pakkasiin asti. Lämpöpumpputeknologiaa kehittämällä on saatu ainakin Zhangin, Lin, Shin ja Chenin tutkimuksessa (2016, 881) rakennettua sähköautoon tarkoitettu ilmalämpöpumppu, joka toimi vielä -20 °C pakkasessa COP-kertoimella 1,25 ja tuotti maksimissaan 2097 W tehon.

Koska Apfelbeckin ja Barthelin (2013) mukaan (kuvio 2) sähköauton sisätilojen lämmityksen tarve -15 °C lämpötilassa voi olla yli 4 kW, ei kokeellinen, noin 2 kW tehon tuottava lämpöpumppu riitä yksin takaamaan sisätilojen lämmitystä Suomen kaltaisen maan talviolosuhteissa. Tästä syystä kaikissa sähköautoissa joissa on lämpöpumppu, on käytettävä myös PTC-lämmitystä.

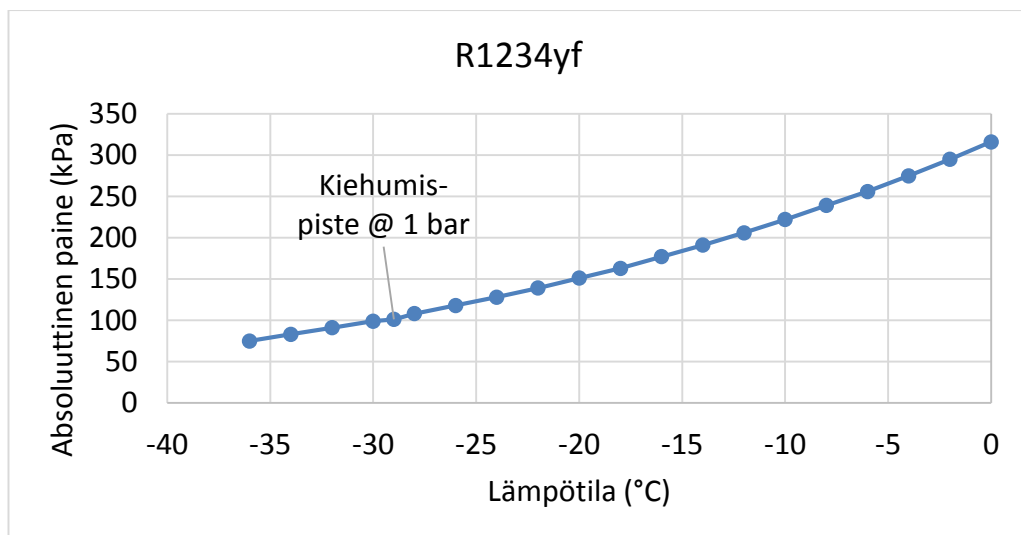
Lämpöpumpun toiminta pakkasessa riippuu suuresti etenkin järjestelmän kylmäaineen ominaisuuksista. Henkilöautojen ilmastointijärjestelmissä on totuttu käyttämään kylmäainetta R134A, mutta vuodesta 2017 eteenpäin ajoneuvojen ilmastointijärjestelmissä on ollut pakollista käyttää kylmäainetta, jonka kasvihuonevaikutusta kuvaava GWP-luku on alle 150. Vanhalle R134A-kylmäaineelle lukema on noin 1400. (Bosch 2014, 1374.)

Monet autovalmistajista ovat valinneet alan uudeksi standardiksi R1234yf-kylmäaineen, koska sen termodynaamiset ominaisuudet ovat samankaltaiset vanhan kylmäaineen kanssa, mutta GWP-arvo on vain 1. Autonvalmistajista ainakin Daimler on kritisoinut kylmäainevalintaa voimakkaasti. (Nelson 2013; Duxbury 2016). Sääntö ei koske vain autojen ilmastointilaitteita, vaan myös vuoden 2017 ja sitä uudempien sähköautojen lämpöpumppujärjestelmien on toimittava tällä uudemmalla kylmäaineella.

Großmann (2016) on esittänyt, että R1234yf-kylmäaineella toimiva lämpöpumppu pysyy yksinään lämmittämään keskikokoisen sähköauton sisätiloja ainoastaan -5 °C asti.

Tätä alemmissa lämpötiloissa pumpun toiminta heikkenee ja sisätilojen lämmöntarve kasvaa niin, että lämpöpumppu tarvitsee avukseen PTC-lämmitystä. Hiilidioksidipohjaisella R744-kylmäaineella varustettu järjestelmä kykenisikin tuottamaan enemmän lämpöä $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa, ja se olisi Großmannin mukaan (2016) osin tästä syystä parempi vaihtoehto etenkin sähköautojen lämpöpumppujärjestelmiin.. Lähteessä ei tosin esitetä pumpujen lämmitysenergioita mainituissa lämpötiloissa tai muitakaan tarkempia lukuja.

Lämpöpumppu ei kuitenkaan lopeta kokonaan toimintaansa R1234yf-kylmäaineen ominaisuuksien vuoksi jo $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa, vaan paine-lämpötilariippuvuuksia tutkittaessa on ilmeistä, että lämpöpumppu lopettaa toimintansa vasta kylmemmissä lämpötiloissa. Pumpun alinta mahdollista lämpötilaa voidaan lähestyä kylmäaineen ominaisuuksien kautta. Kuviossa 10 on esitetty R1234yf-kylmäaineen paine eri lämpötiloissa, sekä kiehumispiste normaalissa ilmanpaineessa.



KUVIO 10. R1234yf-kylmäaineen absoluuttinen paine eri lämpötiloissa (Data: Linde Group n.d., muokattu)

Normaalissa ilmanpaineessa R1234yf:n kiehumispiste on Linde Groupin (n.d.) mukaan noin $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tätä alhaisemmissa lämpötiloissa (ja samassa ilmanpaineessa) kylmäaine ei höyrysty, vaan pysyy nesteenä. Kiehumispiste on sen vuoksi tärkeä, että koko lämpöpumppujärjestelmän toiminta perustuu kylmäaineen olomuodon muutokseen nesteestä kaasuksi. Jos ympäristön lämpötila on kiehumispistettä matalampi, ei kylmäaine höyrysty lainkaan, vaan se pysyy nesteenä.

Kylmäaineen kiehumispiste kasvaa paineen ja lämpötilan kasvaessa. Voidaan olettaa, että myös lämpöpumppujärjestelmän matalapainepuolella on vallittava jokin vallitsevaa ilmanpainetta suurempi paine, jotta kylmäaine ylipäättään liikkuisi. Jos matalapainepiirin paineeksi arvioidaan 1 bar, kylmäaineen absoluuttiseen paineeseen tulee laskea vallitseva ilmanpaine mukaan. Absoluuttinen paine olisi siis noin 2 bar, jolloin R1234yf:n kiehumispiste olisi kuviosta 10 katsottuna noin -13 °C . Jos järjestelmän paine olisi 0,5 bar, absoluuttinen paine olisi 1,5 bar ja kiehumispiste tällöin -20 °C . (Linde Group n.d.). Sähköautojen lämpöpumppujärjestelmän ominaisuudet tulevat siis tällä kylmäaineella aivan viimeistään vastaan -29 °C lämpötilassa, jos matalapainepuolen paineeksi oletettaisiin 0 bar ja ympäristön ilmanpaineeksi 1 bar. Todellisuudessa lämpöpumppu kytkeytyy kokonaan pois päältä jo ennen tätä rajaa. Jos käytettyjen sähköautojen lämpöpumppujärjestelmä on toteutettu vanhalla R134A-kylmäaineella, sen suorituskyky on kylmäaineen paine-lämpötilariippuvuuksista pääteltynä vieläkin heikompi. R134A-kylmäaineen kiehumispiste on normaalissa ilmanpaineessa -24 °C (Linde Group n.d.).

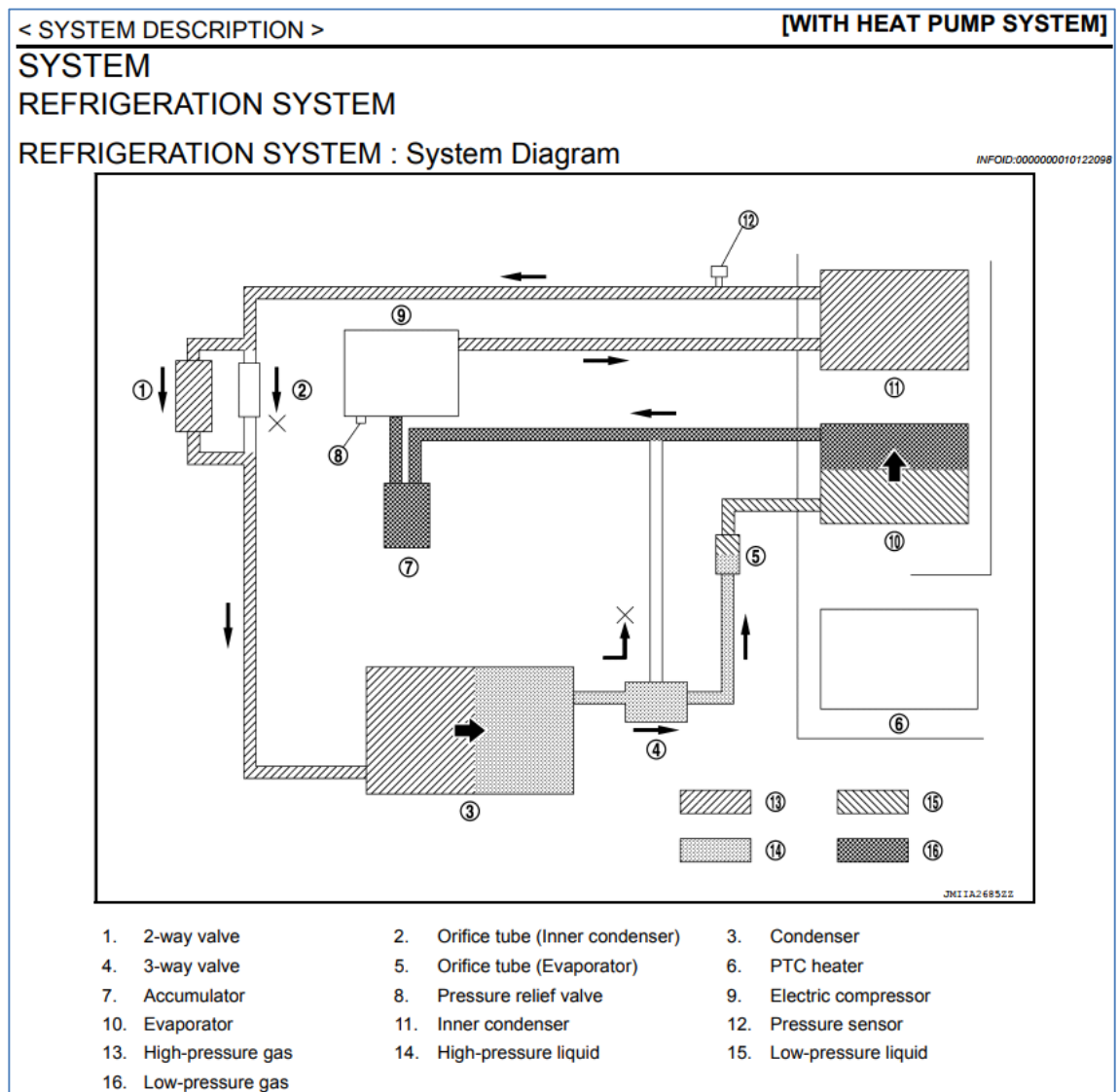
Ilmalämpöpumppua käytettäessä säästetään haasteista huolimatta keskimääräisesti paljon energiaa PTC-lämmitykseen verrattuna. Hyöty on suurin etenkin pienillä pakkasilla ja korkeilla pumpun COP-arvoilla. Sähköenergiaa kuluu silti kuitenkin aina sisätilojen lämmitykseen, mikä pienentää ajosädettä. Verrattuna aiemmin mainittuun 5 kW tehoiseen PTC-lämmittimeen, esimerkiksi COP-arvolla 3 toimiva ja 5 kW maksimitehoinen lämpöpumppu tuottaisi kahdessa tunnissa saman 10 kWh lämpöenergiaa kuin PTC-lämmityskin, mutta kuluttaisi siihen sähköenergiaa vain 3,33 kWh. Tämä tarkoittaa sitä, että 24 kWh nimelliskapasiteetin akustosta käytettäisiin enää 12,5 % lämmitykseen. Kulutetun sähköenergian määrä riippuu kuitenkin siis suuresti ympäristön lämpötilasta, sekä lämpöpumpun ja kylmäaineen ominaisuuksista.

3.4 Eri pumpputyypit

Sähköautoissa on hieman erilaisia lämpöpumppujärjestelmiä. Osassa ulkoilman lämpö luovutetaan suoraan ilmaan, osassa taas jäähdytysnesteeseen. Järjestelmän toimintaa parannetaan keräämällä hukkalämpöä nestejäähdytteisiltä sähköisen tehonsiirron komponenteilta. Lämpöä voidaan myös kerätä nesteestä ja luovuttaa nesteeseen.

3.4.1 Ilma-ilmalämpöpumppu

Ilma-ilmalämpöpumppu on yksinkertaisin ja kenties yleisin tällä hetkellä sähköautokäytössä olevista lämpöpumppujärjestelmistä. Kuviossa 11 on esitelty ilmalämpöpumpulla varustetun Nissan Leafin (2014) kylmäaineen kiertoilmastoinnin ollessa päällä.

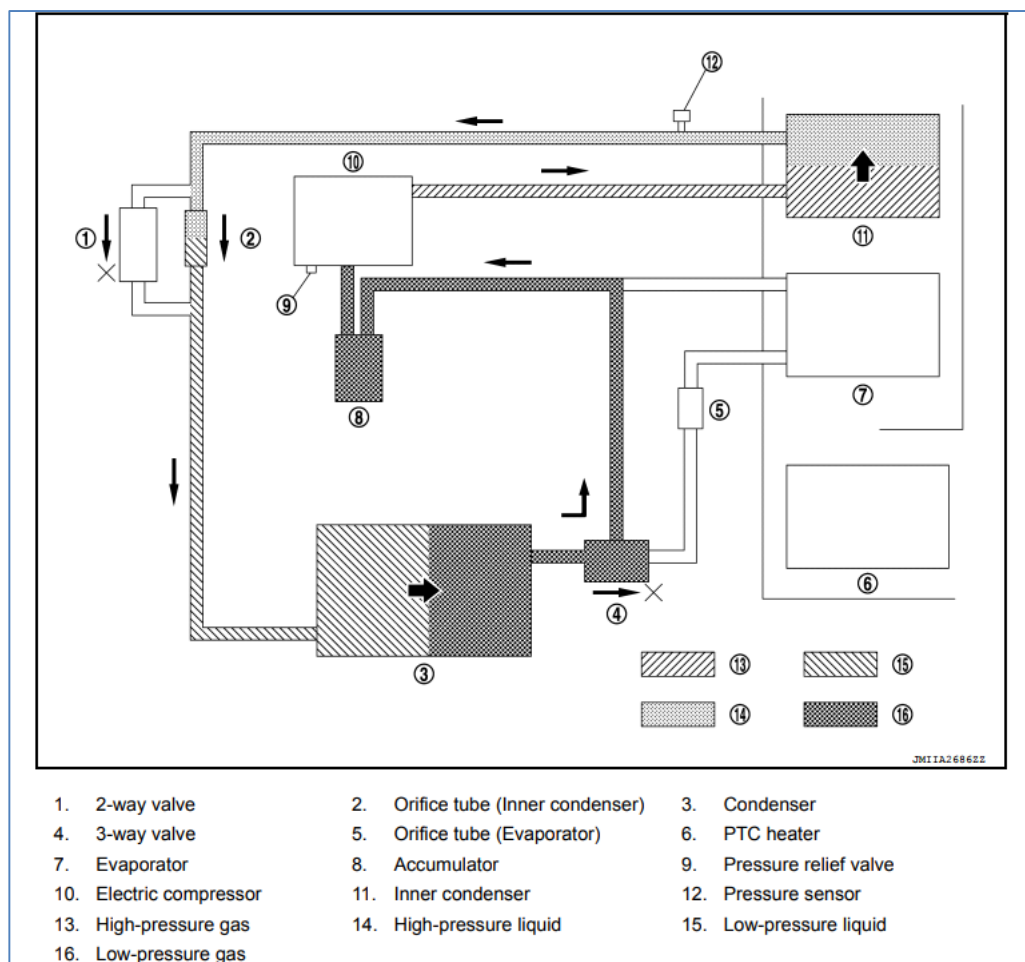


KUVIO 11. Nissan Leaf 2014 ilmalämpöpumpulla, kylmäainepiiri ilmastointikäytössä (Nissan HA 2014, 21)

Kun järjestelmää käytetään ilmastointilaitteena kuvion 11 mukaisesti, kolmitieventtiili (4) ja kaksitieventtiili (1) ovat käytössä. Näin estetään kylmäaineen kulkeutuminen paisuventtiilin (2) läpi, eikä korkeapaineisena kompressorilta (10) lähtenyt höyrystynyt kylmäaine lauhdu nesteeksi. Lauhtuminen tapahtuu vasta auton etupäässä sijaitsevassa

lauhduttimessa (3), jossa kylmäaine luovuttaa sisätiloista keräämänsä lämmön ulkoilmaan. Kaksitieventtiili ohjaa korkeapaineisen, nestemäisen kylmäaineen paisuntaventtiilin läpi. Kylmäaineen paine putoaa, jolloin sen lämpötilakin putoaa. Höyrystimessä (10) kylmäaine kerää itseensä sisätiloissa olevan lämmön, ja höyrystyy matalapaineiseksi kaasuksi. Ennen kulkeutumistaan takaisin kompressorille kylmäainetta varastoidaan akkumulaattoriin (7), joka toimii kylmäaineen energiavarastona.

Kuviossa 12 on esitelty lämpöpumpputjärjestelmä vastaavasti lämmityksen ollessa päällä.



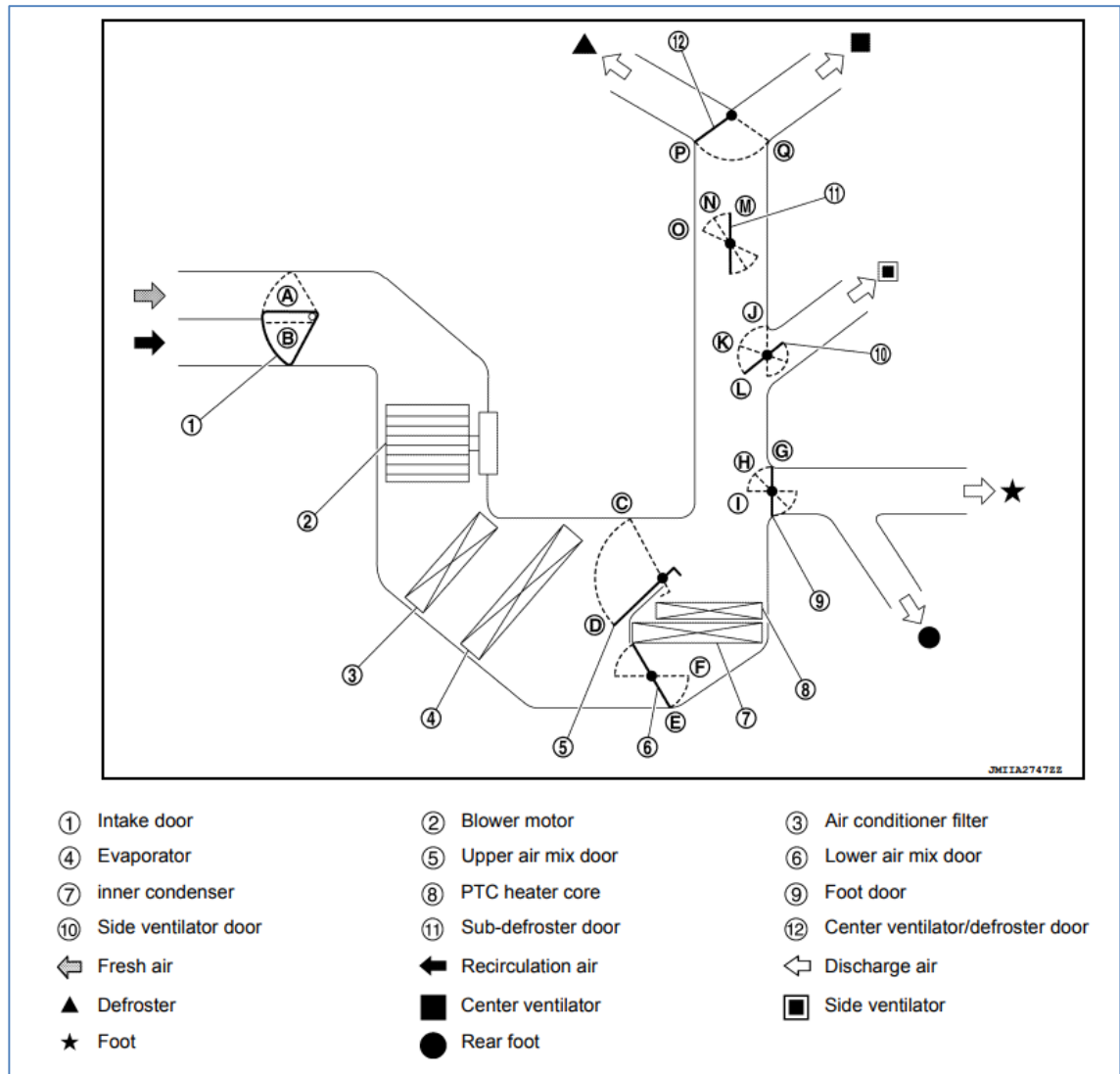
KUVIO 12. Nissan Leaf 2014 ilmalämpöpumpulla, kylmäainepiiri lämmityskäytössä (Nissan HA 2014, 22)

Järjestelmän ollessa kuvion 12 mukaisesti lämmityskäytössä, venttiileitä (1) ja (4) ohjataan niin, että kylmäaine ei kulkeudu ilmastointilaitteen höyrystimen (7) läpi lainkaan. Kylmäaine on kaasumaisessa olomuodossa, kun kompressorin puristaa sen korkeaan paineeseen. Kylmäaine luovuttaa lämpöenergiaa sisätiloihin sisätilojen lauhduttimessa (Inner condenser 11), jossa se lauhuu korkeapaineiseksi nesteeksi. Kun kaksitieventtiili (1)

on kiinni, kylmäaine pakotetaan kulkemaan paisuntaventtilin (2) läpi. Nesteen paine laskee, ja se lauhtuu matalapaineiseksi nesteeksi. Samalla sen lämpötila alenee. Kylmäaine kulkeutuu auton keulalla olevaan lauhtuttimeen (condenser, 3). Tämän komponentin nimen tulisi olla lämmityskäytössä itse asiassa höyrystin, eli englanniksi evaporator, koska lämmityskäytössä se toimii höyrystimenä. Matalapaineinen, alhaisessa lämpötilassa oleva kylmäaine kerää kennossa ulkoilmasta lämpöä itseensä ja höyrystyy. Osien vakiintuneiden nimitysten vuoksi autonvalmistajan on kuitenkin ilmeisesti helpompaa puhua ”ulkoyksikön” ja ”sisäyksikön” sijaan lauhtuttimesta (condenser), sisälauhtuttimesta (inner condenser) ja höyrystimestä (evaporator) väärinkäsitysten ehkäisemiseksi. Kolmitieventtiili ohjaa matalapaineisen höyrystyneen kylmäaineen akkumulaattorille ja uudetaan kompressorin kautta kierto.

Sähköautojen ilma-ilmalämpöpumppujärjestelmissä näyttäisi olevan usein sisätiloissa oma lauhtutin lämmön tuottoa varten ja oma höyrystin ilmastointia varten. Kylmäaineen kiertoon liittyviä kennoja on siis (auton keulalla oleva lauhtutin mukaan luettuna) yhteensä kolme. Ainakin Renault Zoessa, Nissan Leafissa ja Hyundai Ioniqissa on luvun 8 mukaisesti kolme kennoa lämpöpumppujärjestelmässä. Rakennuskäytössä taas ilmalämpöpumpuissa on käytössä vain kaksi kennoa, yksi ulko- ja yksi sisäyksikössä. Kylmäainekierron suuntaa vaihtamalla sisäyksikkö saadaan toimimaan kesällä höyrystimenä ja talvella lauhtuttimena. Periaatteessa autojen sisätiloihin riittäisi siis yksikin kenno saman toiminnon ajamiseen. Sippolan (2018) mukaan kolmen kennon ratkaisua käytetään ainakin Ioniqissa siksi, että se mahdollistaa autokäytössä tarvittavan nopean vaihdon ilmastoinnin ja lämmityksen välillä.

Jos lämpöpumppujärjestelmässä on kaksi kennoa sisätiloissa, sisätilojen ilmanjakelussa täytyy kiinnittää huomiota siihen, että jäähdytys ja lämmitys toimisivat tehokkaasti. Kuviossa 13 on esitetty ilmalämpöpumpullisen toisen sukupolven (2012 – 2017) Nissan Leafin ilmastointi- ja lämmitysjärjestelmän ilmaputkisto. Tässä mallissa ei käytetä enää nestekiertoista PTC-lämmitystä kuten edeltäjässä, vaan ilmasta ilmaan-tyyppistä PTC-lämmitystä. Ilmalämpöpumppu on joillakin markkinoilla valinnainen lisävaruste.

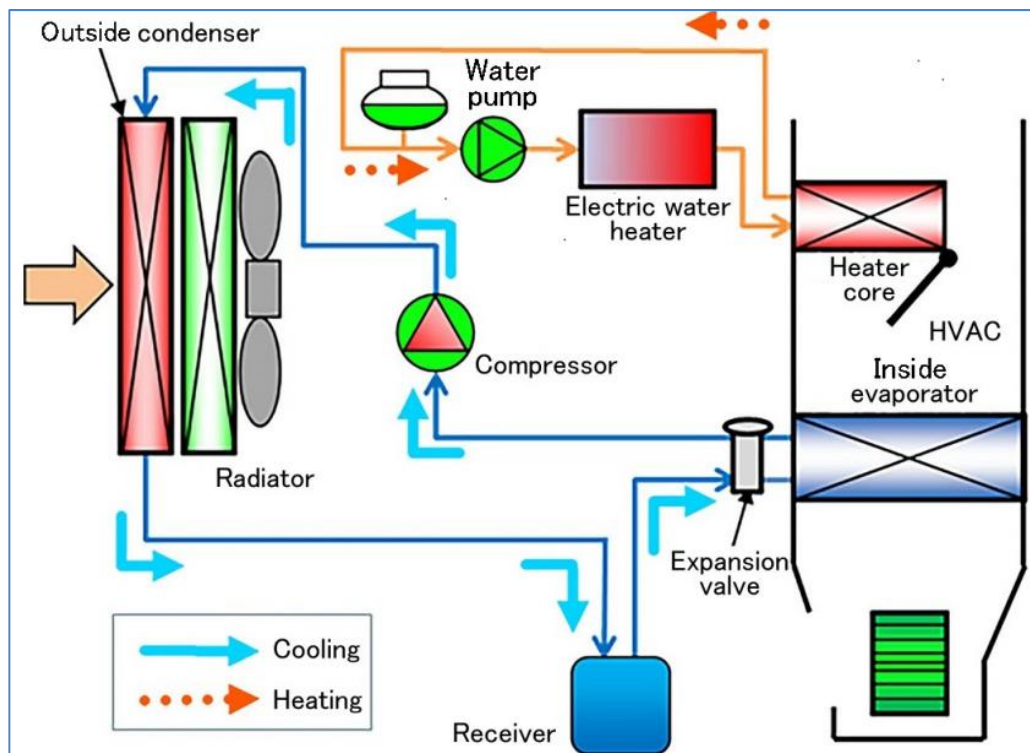


KUVIO 13. Nissan Leaf 2014 ilmalämpöpumpulla, ilman ohjaus matkustamoon (Nissan HAC 2014, 35–36)

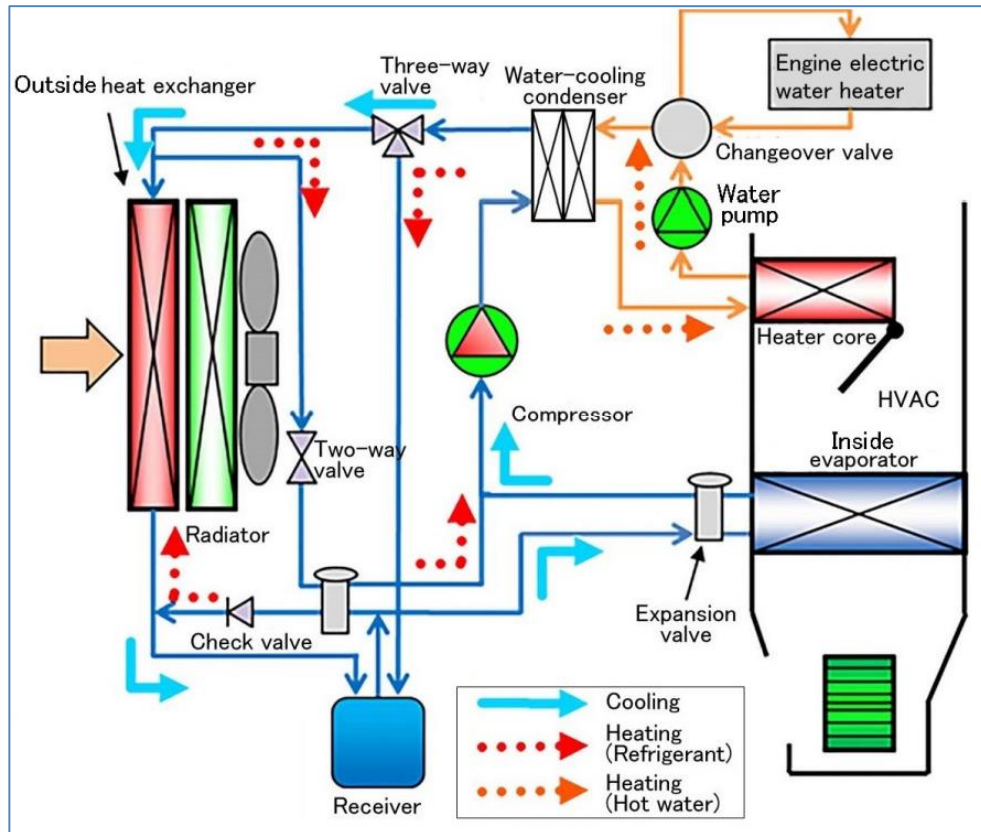
Vaikka puhallusilma kulkeekin kuvion 13 kaaviossa ilmastointijärjestelmän höyrystimen (4) läpi, puhallusilma ei kuitenkaan jäähydy lämmityskäytössä. Tämä johtuu kuvion 12 mukaisesti siitä, että kylmäaine ei kierrä lämmityskäytössä lainkaan höyrystimessä, joten se höyrystin ei vaikuta ilman lämpötilaan. Puhallusvirtaus kulkeutuu ilmaläppiä ohjaamalla lämmityskäytössä sisätilan lauhduttimen (7) läpi, jolloin kylmäaine luovuttaa ulkoa keräämänsä lämmön sisäilmaan. Ilmastointikäytössä kylmäaine kulkeutuu kyllä sisätilojen lauhduttimen läpi, mutta koska ilmapvirtaus ohjataan läpillä (5) ja (6) kulkemaan lauhduttimen ohi, kuuma kylmäaine ei luovuta lämpöä sisätiloihin. Sisätiloja voidaan lämmitellä lisäksi myös PTC-lämmittimellä (8). Lauhdutin on sijoitettu puhalluksessa ennen PTC-lämmitintä, jotta lauhduttimen mahdollisesti luovuttama lämpö kuumentaisi myös PTC-lämmitintä, ja rajoittaisi sitä kautta sähkövirtaa.

3.4.2 MHI ilma/vesilämpöpumppu

Mitsubishi Heavy Industries Automotive Thermal Co., Ltd. (MHI) sarjavalmistaa tällä hetkellä sähkö- ja hybridautojen sisätilojen nestekiertoa lämmittävää nestelämmitintä. Yritys on jatkokehittänyt tähän järjestelmään ilmalämpöpumppua, joka lämmittää ulkoilmasta saatavalla lämmöllä nestettä. (MHI Technical Review 2017). Uuden ja vanhan järjestelmän toimintaperiaatteita on esitetty kuvioissa 14 ja 15.



KUVIO 14. Tavanomainen sähkö- ja hybridautojen sisätilojen ilmastointi ja sähkölämmitys (MHI Technical Review 2017)

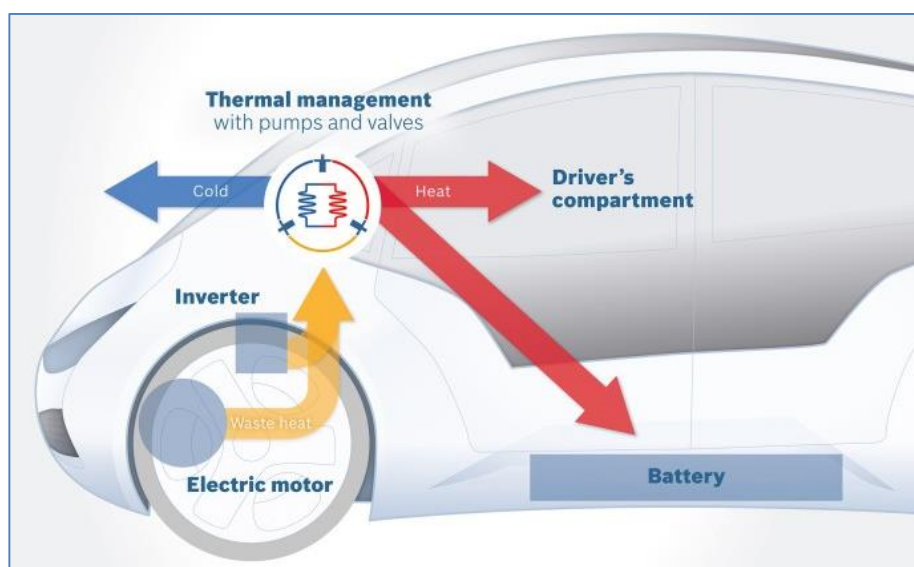


KUVIO 15. Lämpöpumppu, joka lämmittää jäähdytysnestettä (MHI Technical Review 2017)

Järjestelmän toiminta ja rakenne ovat vastaavat kuin aiemmin esitellyssä ilmalämpöpumppujärjestelmässä: kylmäaine saadaan kulkemaan eri reittiä käyttämällä kaksitie- ja kolmitieventtiileitä, ja näin lämpöä joko siirretään sisätiloihin tai sisätiloista pois. Kummallekin toiminnolle on oma lämmönvaihtimensa sisätiloissa: ilmastoinnille höyrystin (inside evaporator) ja lämmitykselle nestejäähdytteinen lauhdutin (Water cooling condenser). MHI:n järjestelmässä kylmäaine luovuttaa lämmön jäähdytysnestepiiriin, joka kierrättää nestettä oman vesipumppunsa avulla lämmittimen kennolle. Järjestelmä on suunniteltu hybridautoihin, ja sisätilojen nestekierto näyttäisi olevan vaihtoventtiilin (changeover valve) kautta kytkettävissä polttomoottorin jäähdytysnesteen kiertoon. Sisätiloja lämmitetään tarvittaessa lisäksi kuumentamalla oranssilla merkittyä jäähdytysnestekiertoa PTC-lämmittimellä.

3.4.3 Hukkalämpöä keräävä lämpöpumppu

Bosch on kehittänyt ajoneuvokäyttöön lämpöpumpun, joka pystyy keräämään sähköautoissa sähkömoottorin ja invertterin tuottamaa hukkalämpöä sisätilojen lämmitykseen. Järjestelmä tuo talvikäytössä valmistajan mukaan 25 % parannuksen sähköauton ajosäteeseen. (Bosch Mobility Solutions 2015). Hukkalämpöä keräävän lämpöpumpun toimintaperiaate on esitelty kuviossa 16.



KUVIO 16. Boschin kehittämä hukkalämpöä keräävä sähköauton ilmalämpöpumppu (Bosch Mobility Solutions 2015, muokattu)

Valmistaja ei kerro järjestelmän toimintaperiaatteesta tai alimmasta toimintalämpötilasta tarkemmin lähteen yhteydessä. Koska sähköautojen sähköisen tehonsiirron komponenttien jäähtytykseen käytetään McKinsey & Companyn (2017) mukaan aina nestekiertoa, on niissä syntyvä pieni, mutta olemassa oleva hukkalämpö helposti johdettavissa paikasta toiseen nestekierron ja lämmönvaihtimien avulla.

Jotta lämpöpumppu saisi kerättyä ajomoottorin hukkalämmön, tulee jäähdytysnesteeseen sitoutunut lämpö siirtää lämpöpumpun kylmäaineeseen. Ilmeisesti Boschin järjestelmässä on käytössä vastaava lämmönvaihdin kuin mitä ”water-cooling condenser” on MHI:n järjestelmässä. Lämpö siirtyy kuitenkin Boschin järjestelmässä nesteestä kylmäaineeseen, eli päinvastoin kuin MHI:n järjestelmässä. Kun hukkalämmöstä hieman lämmennyt kylmäaine johdetaan kompressorille, kylmäaineen lämpötilan voidaan olettaa nousevan kompressorissa huomattavasti suuremmaksi, kuin mitä ilman hukkalämmön

keruuta. Korkeampi lämpötila tarkoittaa suurempaa sisätiloihin saatavaa lämpöä. Lämpö siirretään sisätiloihin kuvioista 16 päättelemällä vastaavasti kuin ilma-ilmalämpöpumppujärjestelmissä, eli sisätilojen lauhduttimen kautta. On tosin mahdollista, että järjestelmässä olisi vielä toinen lämmönvaihdin nestekiertoista lämmitystä varten, mutta järjestelmän tarkkaa toimintaa ei kerrota lähteessä.

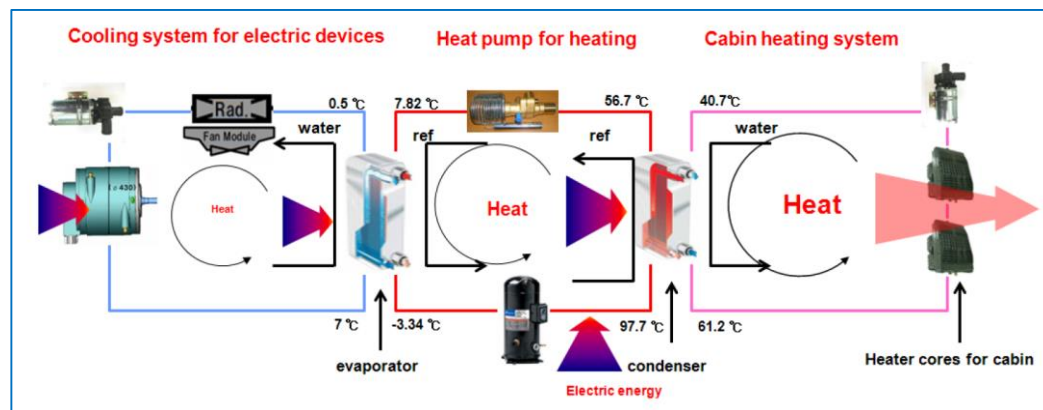
Boschin kaaviokuvassa on lisäksi punainen nuoli osoittamassa akustoa. Lämpöpumpun tuottamalla lämpöenergialla pitäisi siis kaavion mukaan saada lämmitettyä myös akustoa kylmissä olosuhteissa. Jotta lämpöpumppu lisäämällä saataisiin myös lämmitettyä akustoa, tulisi akuston lämmönhallinnan tapa olla tiedossa. Kuten todettua, valmistaja ei kuitenkaan kerro lähteen yhteydessä tarkemmin järjestelmänsä toiminnasta, joten Boschin järjestelmän todellinen toimintaperiaate jää siis varmistamatta. On kuitenkin hyvä tietää, että hukkalämpöä kerääviä järjestelmiä on olemassa, ja että ne parantavat ainakin valmistajan ilmoituksen mukaan sähköautojen ajosädettä. Muutamassa luvun 8 autossa onkin hukkalämpöä keräävä järjestelmä.

3.4.4 Vesi-vesi lämpöpumpun mahdollisuus

Periaatteessa mikään ei ainakaan ajatuksen tasolla estäisi Boschin ja MHI:n järjestelmien yhdistämistä. Tällöin nestejäähdytteisiltä tehonsiirron komponenteilta kerättäisiin lämmönvaihtimen avulla hukkalämpö kylmäaineeseen. Toisella kylmäaine-vesi lämmönvaihtimella lämpö siirrettäisiin sisätiloja lämmittävään jäähdytysnestekeirtoon. Kun tehonsiirron komponentit lämpenevät ajossa, kylmäaineen lämpötila nousisi juuri ennen kompressoria, mikä johtaisi myös pumpun parempaan tehoon.

Ilmeisesti ainakin Mahle valmistaa tällaista järjestelmää, koska lehdistötiedotteessaan (Mahle 2017) yritys mainitsee valmistavansa vesi-vesi lämpöpumppuja sähköisen voimalinjan omaaviin autoihin: Mikäli MAHLEN vesi/vesi lämpöpumppua käytetään sähkömoottorin ja sähköisen tehonsiirron komponenttien pienen, mutta olemassa olevan hukkalämmön keräämiseen, ajosädettä voidaan kasvattaa jopa 20 % nollan celsiusasteen lämpötilassa.

Tieteellistä tutkimusta juuri tällaisesta hukkalämpöä keräävästä ja jäähdystynesteeseen lämmön luovuttavasta lämpöpumppujärjestelmästä on tehty ainakin Chon ym. (2012) toimesta. Tässä tutkimuksessa tutkittiin vesi-vesi lämpöpumpun ominaisuuksia linja-autojen ensisijaisena lämmitysjärjestelmänä. Tutkijat mittasivat veden virtausnopeuden vaikutuksen COP-kertoimiin. Lämpöpumppujärjestelmän COP-kertoimeksi raportoitiin 3, kun ulkolämpötila oli 0 °C (Cho ym. 2012). Lämmön siirtyminen järjestelmässä on esitetty kuviossa 17.



KUVIO 17. Lämmön siirtyminen hukkalämpöä keräävässä vesi-vesi lämpöpumppujärjestelmässä (Cho ym. 2012)

3.5 Polttoainekäyttöinen lisälämmitin sähköautoissa

Osa sähköautojen omistajista on tehnyt itse lämmitinasennuksia autoihinsa (Green Car Reports 2016). Yhdessäkin luvussa 2 valitun tuotantomallin sähköautossa ei ole kuitenkaan käytetty polttoainekäyttöistä lisälämmitintä lämmön tuottamiseen. Tosin pian Suomeen tuotavassa Renault Kangoo Z.E.:ssä on Jalovaaran (2018) mukaan sellainen, joten Kangoo Z.E.:n lisääminen tutkittavien sähköautomallien listaan on järkevää.

Volvo on käyttänyt aiemmin valmistamassaan sähköautossa C30 Electric bioetanolilämmitintä. Etanolilämmittimen ja sähköauton yhdistämisestä on tehty tieteellistä tutkimusta Apfelbeckin ja Barthelin toimesta. Kyseinen artikkeli vaatii perustiedon ymmärtämistä polttoainekäyttöisistä lämmittimistä, ja sen sisältöä käsitellään siksi tarkemmin luvuissa 4 ja 5. Volvo C30 Electric-sähköauton lämmönhallintajärjestelmät on esitelty seuraavassa alaluvussa.

3.5.1 Volvo C30 Electricin lämmönhallintajärjestelmät

Volvo esitteli vuonna 2009 täyssähköauto C30 Electricin, ja valmisti sitä rajoitetusti muutamana vuonna tämän jälkeen. Autossa oli vakiovarusteena bioetanolikäyttöinen lämmitin ja sille tarkoitettu polttoainesäiliö. Autossa oli kolme lämmönhallinnan osa-aluetta: sisätilojen, akuston ja sähköisen tehonsiirron komponenttien lämmönhallinta. Sisätilojen ja akuston lämmitykseen käytettiin 6 kW sähköistä upotuslämmitintä. Etanolilämmitin oli Volvon mukaan 5 kW:n tehoinen, ja sitä käytettiin sisätilojen lämmittämiseen. Lisäksi autossa oli 1 kW tehoinen PTC-lämmitin niitä tilanteita varten, joissa etanolilämmitintä ei haluttu käyttää. Silloin 6 kW upotuslämmitin ja 1 kW PTC-lämmitin toimivat yhdessä sisätilojen lämmittämiseksi. (Volvo Car Group 2012).

Koska upotuslämmitin kerrottiin lämmittävän sekä akkua että sisätiloja, tuli sisätilan lämmityksen jäähdytysnestekierron ja akuston lämmönhallinnan olla jotenkin yhdistetty toisiinsa. Autonvalmistaja ei kerro lähteen yhteydessä tarkasta rakenteesta enempää, mutta Partslink24-varaosaportaalin (2018) rakennekuvista pystyy toteamaan, että sisätilojen lämmitykseen käytettiin nestekiertoa. Polttoainetoiminen lämmitin oli ilmeisesti Eberspächerin toimittama vesilämmitin, jonka Volvo-varaosanumero on 31291774. Sähköinen upotuslämmitin oli myös sisätilojen nestekierrossa, ja sen varaosanumero on 31345180. Akuston lämmönhallintaan ei ollut omaa nestekiertoa, vaan lämmönhallinta oli tehty ilmajäähdytyksellä. BMS:n ohjaama puhallinmoottori (31215814) sai aikaan ilmapvirtauksen, joka kulki ilmastointijärjestelmään liitetyn höyrystimen (31215816), sekä sisätilojen nestekiertoon liitetyn lämmönvaihtimen (31215817) läpi. Ilmaa johdettiin akustolle monimutkaisen putkiston kautta ja näin akustoa saatiin viilennettyä tai lämmitettyä tarpeen mukaan. Jäähdytysnesteen kiertoa akuston lämmönvaihtimelle ohjattiin todennäköisesti venttiileillä.

Koska upotuslämmitin ja etanolilämmitin olivat samassa nestekierrossa kuin akuston lämmönvaihdin, etanolilämmitimellä pystyttäisiin siis vaikuttamaan välillisesti myös akuston lämmönhallintaan, vaikka Volvon mukaan etanolilämmitin oli ainoastaan sisätilojen lämmittämiseen. Pienempi, 1 kW tehoinen PTC-lämmitin oli ilmasta-ilmaan -tyyppinen lämmitin (9124131), joka sijaitsi kojelaudan sisällä ilmastointilaitteen höyrystimen yhteydessä. Sähköisen tehonsiirron komponentit olivat nestejäähdytteisiä, ja ne olivat liitetty osittain samaan kiertoon sisätilojen nestekierron kanssa.

4 WEBASTON POLTTOAINEKÄYTTÖISET LÄMMITTIMET

Pelkkien sähköautojen lämmitys- ja lämmönhallintajärjestelmien perusteiden tunteminen ei riitä polttoainekäyttöisen lämmittimen ja sähköauton integroimisen käsittelemiseksi. Siksi opinnäytetyössä on hyvä käsitellä myös Webasto-lämmitinjärjestelmien ja niiden asentamisen perusteita.

Polttoainekäyttöiset lisälämmitinjärjestelmät ovat ajoneuvoihin asennettavia järjestelmiä, jotka käyttävät polttomoottoriajoneuvon omaa polttoainetta tuottaakseen lämpöä. Webasto valmistaa polttoainekäyttöisiä lämmittimiä lähes kaikkeen liikkuvaan kalustoon. Lämmitysratkaisuja on saatavilla esimerkiksi henkilöautoihin, raskaaseen kalustoon ja veneisiin. Webaston valmistamat polttoainekäyttöiset lämmittimet voidaan jakaa karkeasti vesilämmittimiin, ilmalämmittimiin ja yhdistelmälämmittimiin. Lämmittimiä on tyyppillisesti saatavana bensiini- ja dieselkäyttöisinä. (Webasto International Training, 01 Heating 2018).

Vesilämmittimet siirtävät palamistapahtumassa vapautuvan lämmön jäähdytysnesteseen. Tämän vuoksi ne soveltuvat hyvin sekä moottorin esilämmittämiseen, että sisätilojen lämmittämiseen auton oman lämmönvaihtimen ja puhallinmoottorin avulla. Ilmalämmittimet taas siirtävät palamistapahtumassa syntyneen lämmön tehokkaasti suoraan ilmaan, ja niitä käytetäänkin ajoneuvon matkustamon tai muun tilan suoraan lämmittämiseen. Ilmalämmittimet soveltuvat erittäin hyvin lämmitettävän tilan pitkäkestoiseen lämmittämiseen (Bosch 2014, 1376).

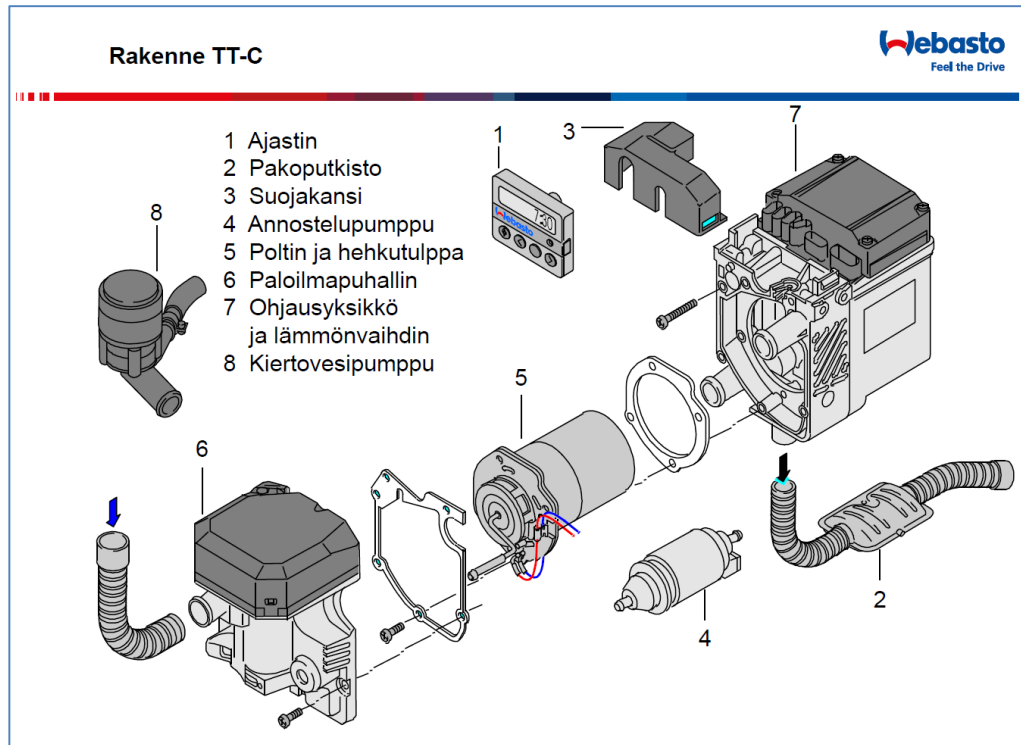
Yhdistelmälämmittimet ovat tarkoitettu käytettäväksi matkailuajoneuvoissa. Ne siirtävät lämpöä lämmitettäviin tiloihin ilmalämmityksen periaatteella ja samanaikaisesti lämmitävät saniteettikäyttöön tarkoitettua vettä. Lämmittimien yhteydessä on pieni lämminvesivaraaja. (Webasto Dual Top Introduction Training 2018.) Yhdistelmälämmittimet ovat lähinnä matkailukäyttöön tarkoitettuja erikoissovelluksia joten niiden toimintaan ei tutustuta tässä työssä tarkemmin.

4.1 Vesilämmittimet

4.1.1 Perusteet ja toiminta

Henkilöautoissa on tavallisesti totuttu käyttämään vesilämmitintä moottorin ja sisätilojen esi- ja lisälämmittämiseksi. Järjestelmässä moottorin jäähdytysnestekierto on asennetaan vesilämmitin, joka kuumentaa polttomoottorin jäähdytysnestettä. Henkilöautojen lämmittimet on mitoitettu tuottamaan tehoa 5 kW asti. Raskaassa kalustossa moottorin esilämmitykseen käytetään isompia, jopa 12 kW tehoisia lämmittimiä moottorin esilämmittämiseksi. Linja-autojen suuri ilmatilavuus vaatii lämmittimeltä tehoa aina 35 kW asti. (Bosch 2014, 1377).

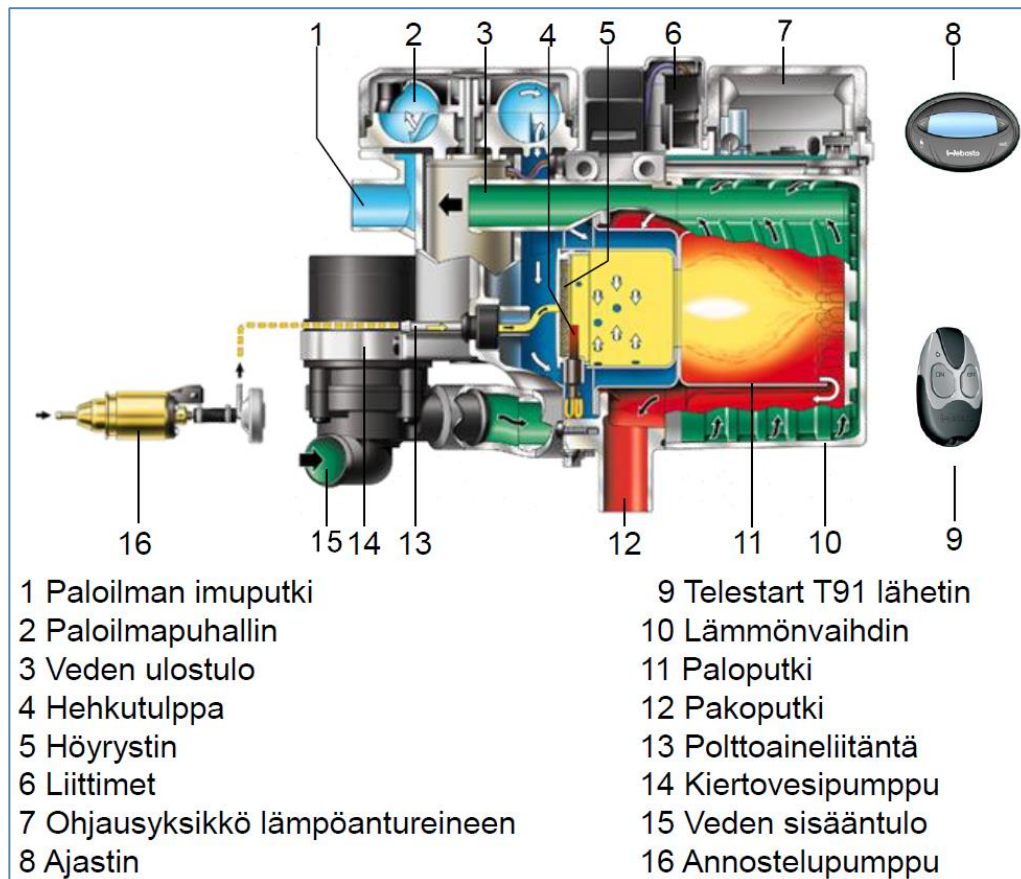
Webaston vesilämmittimissä liekin muodostava osa on nimeltään poltin. Henkilöautokäytössä tämä on yleensä tyypiltään höyrystinpoltin. Muita Webaston valmistamia polttrinrakenteita ovat korkeapainepoltin, rotaatiopoltin ja venturipoltin. Höyrystinpoltin on muun muassa kompaktin kokonsa, toimintavarmuutensa ja pienen polttoaineen kulutuksensa ansiosta paras ratkaisu lämmittämiseen 1 ... 9 kW teholuokassa. Siksi työssä on mielekästä keskittyä Webaston höyrystinpolttimella varustettuihin vesilämmittimiin, käytännössä mallisarjaan Thermo Top Evo. Vesilämmittimien toimintaperiaate on kuitenkin mallista ja valmistajasta riippumatta hyvin pitkälle samankaltainen. Vesilämmittimien rakennetta ja toimintaa voidaan esitellä esimerkiksi Webasto Thermo Top C-lämmittimen kautta. Kyseistä mallia on käytetty pitkään ja se on edelleen tuotannossa. (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018). Thermo Top C-vesilämmittimen rakenne on esitetty kuviossa 18.



KUVIO 18. Webasto Thermo Top C-vesilämmittimen rakenne (Kaha henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018)

Vesilämmittimen pääkomponentit ovat kuvion 18 mukaisesti polttoaineen annostelupumppu (4), höyrystinpoltin (5), hehkutulppa (5), paloilmapuhallin (6), lämmönvaihdin (7) ja kiertovesipumppu (8). Lämmittimen toimintaa ohjaa elektroninen ohjausyksikkö, joka on Thermo Top C-mallissa integroitu lämmönvaihtimeen. Thermo Top Evo-lämmittin on toiminnaltaan hyvin samankaltainen Thermo Top C:n kanssa. Evo on kuitenkin mitoiltaan kompaktimpi, sekä sen komponentit ja tekniset ominaisuudet ovat kehittyneemmät kuin C:ssä. (Kaha henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018.)

Thermo Top C-vesilämmittimen toimintaperiaatetta ja komponentteja selventävä läpileikkaus on esitetty kuviossa 19.



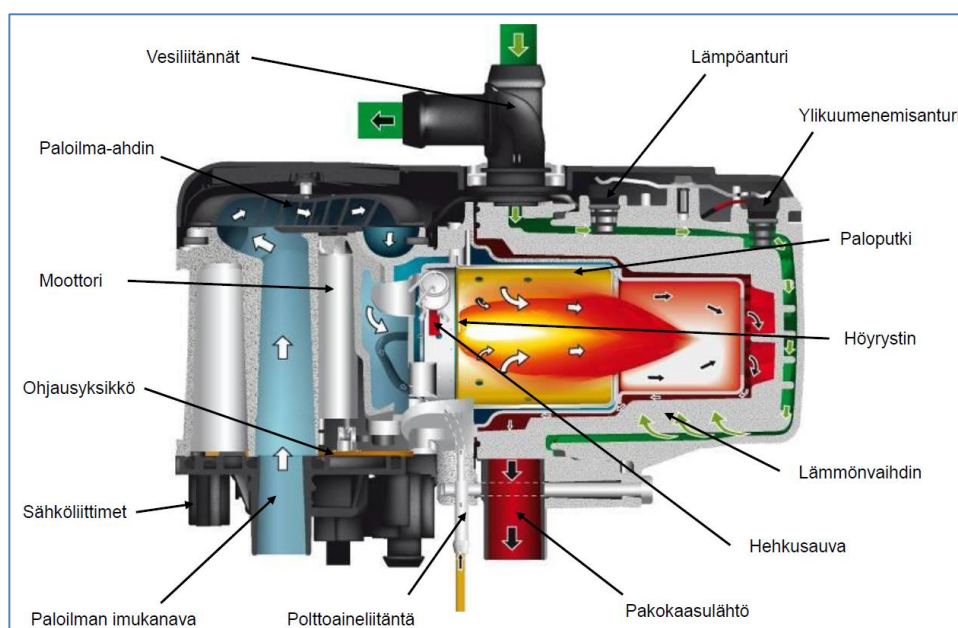
KUVIO 19. Thermo Top C-vesilämmittimen toimintaperiaate (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018)

Kuvion 19 mukainen polttoainekäyttöinen vesilämmitin toimii seuraavasti: lämmitin imee ilmaa paloilman imuputken (1) kautta. Paloilmapuhallin (2) työntää palamiseen vaadittavan ilman palokammioon. Polttoainelinja on merkitty keltaisella (13). Polttoaineen annostelupumppu (16) siirtää polttoainetta polttimen höyrystimelle (5), jossa se kaasuuntuu lämmön vaikutuksesta. Käynnistysvaiheessa hehkutulppa lämmittää höyrystintä ja siinä olevaa polttoainetta. Kaasuuntunut polttoaine sekoittuu ilmassa olevan hapen kanssa, jonka paloilmapuhallin ahtaa palokammioon. Kun hehkutulpan lämpötila on riittävä, polttoaineen ja ilman seos syttyy ja alkaa pian palamaan. Paloilmapuhaltimen vaikutuksesta liekki palaa pääosin paloputken sisällä terävänä liekinä. Kuumat pakokaasut ohjataan lämmönvaihtimen (10) kautta pakoputkeen (12). Lämmönvaihtimessa kiertävät pakokaasut luovuttavat lämpöä lämmönvaihtimen seinämän läpi jäähdytysnesteeseen. Kiertovesipumppu (14) kierrättää jäähdytysnesteeseen sisään- ja ulostulon (15 & 3) läpi. Vesipumppua ohjataan lämmönvaihtimeen integroiduilla lämpötila-antureilla, jotka mittaavat jäähdytysnesteeseen lämpötilaa. Tarkoituksena on varmistaa, ettei neste lämpene lämmönvaihtimessa liikaa ja ala kiehua. Ohjainlaite katkaisee polttoaineen syötön ja liekki

sammuu, jos jäähdystynesteen lämpötila nousee liian korkeaksi. (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018).

Kun liekki on syttynyt ja polttimessa on noussut riittävästi, hehkutulppa kytketään pois päältä. Liekin lämmittävä vaikutus riittää höyrystämään tulevan polttoaineen. Hehkutulppa alkaa toimia tämän jälkeen palamista valvovana elementtinä, eli ns. liekkivahtina. Palamisesta syntyvä lämpösäteily pitää hehkutulpan kuumana, ja sen sisällä oleva termistori muuttaa tämän perusteella vastusarvoaan. Ohjainlaite tunnistaa tämän vastusarvon perusteella syttyikö liekki polttimessa vai ei, ja mikä sen lämpötila on. Ongelmatilanteissa ohjainlaite katkaisee polttoaineen syötön automaattisesti. (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018).

Thermo Top Evo on Webaston viimeisimmän sukupolven vesilämmitin. Kuten todettua, se on rakenteeltaan kompaktimpi kuin Thermo Top C ja lisäksi sen toiminnassa ja komponenttien ohjauksessa on toimintaa parantavia eroja. Esimerkiksi vesipumppu on täysin lämmittimen ulkopuolelle kiinnitettävä ulkoinen komponentti, toisin kuin Thermo Top C:ssä. (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018). Toimintaperiaate ja rakenne ovat kuitenkin hyvin samankaltaiset. Thermo Top Evo-lämmittimen läpyleikkaus on esitetty kuviossa 20.



KUVIO 20. Webasto Thermo Top Evo-vesilämmittimen toimintaperiaate ja keskeisimmät komponentit (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018)

Vesilämmitin hyödyntää siis auton olemassa olevaa jäähdytysnestekiertoa, lämmittimen kennoa ja muita osia. Esilämmityksessä lämpöä siirretään myös sisätiloihin käyttämällä auton puhallinkytkentää. Puhallinkytkennällä ohjataan auton oma puhallinmoottori pyörimään ja ilmaläpät oikeaan asentoon, jotta lämpö siirtyisi sisätiloihin tehokkaasti ja ikkunat sulaisivat. Lämmitin itsessään toimii hyvällä, parhaimmillaan yli 80 % hyötysuhteella polttoaineen kemiallisen energian muuttamisessa lämmöksi ja sen siirtämisessä jäähdytysnesteeseen (Puolitaival 2018; Apfelbeck & Barthel 2013). Lämmittimien ja etenkin paloprosessin ominaisuuksia on käyty tarkemmin läpi kappaleessa 5.

4.1.2 Vesilämmittimien asennusperusteet

Vesilämmittimen asennukseen aina tarvittavat kokonaisuudet ovat lämmitin, perusasennussarja ja käyttölaite. Mikäli auton oma puhallin halutaan toimimaan yhdessä lämmittimen kanssa, sisätilojen lämmittämiseksi tarvitaan lisäksi puhallinkytkentäsarja. (Webasto seminaarikiertue 2017). Osakokonaisuudet on esitetty kuviossa 21.

ThermoTop Evo – logistiikkakonsepti henkilöautoissa

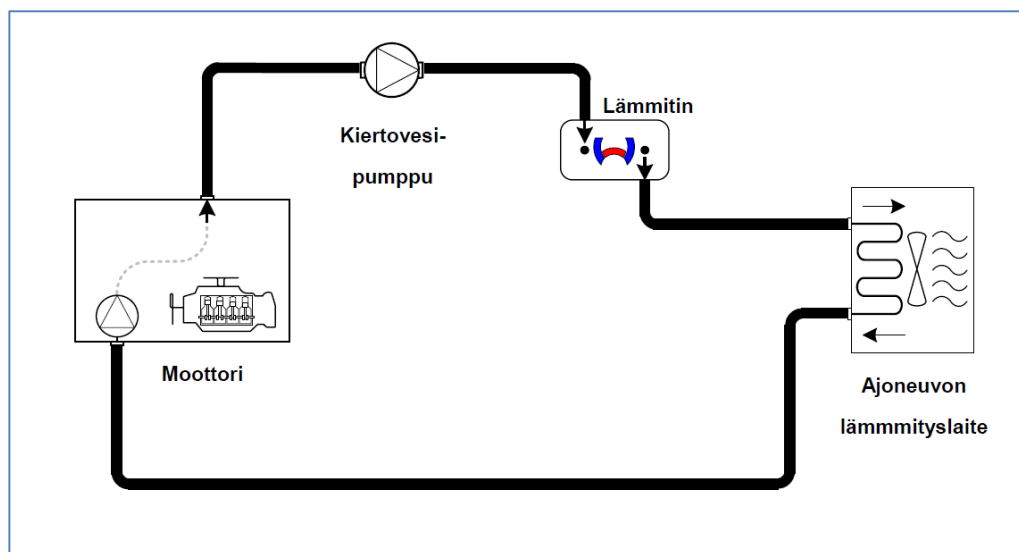
“Webasto” = Lämmitin + Asennussarja (+ Puhallinohjain) [+Lisäsarja] + Käyttölaite

		
ThermoTop Evo 4kW Bensiini KW 1314812B	Perusasennussarja (ilman polttoaineotinta) KW 1314818D	MultiControl KW 9029783C
ThermoTop Evo 4kW Diesel KW 1314816B		TeleStart T91 KW 1314635A
ThermoTop Evo 5kW Bensiini KW 1314811B	TAI	TeleStart T100 HTM KW 1314637A
ThermoTop Evo 5kW Diesel KW 1314815B	Automallikohtainen-sarja (ei aina puhallinkytkentäosia)	ThermoCall 4 KW 9032129PP
ThermoTop Evo 5+ kW Bensiini KW 1314810A	Puhallinkytkentäsarja Standard / Comfort	ThermoConnect KW 9035344A
ThermoTop Evo 5+ kW Diesel KW 1314814A	Lisäsarjat ColdStartKitit, erikoislisäsarjat, yms.	

KUVIO 21. Webasto Thermo Top Evo-vesilämmittimen asennukseen tarvittavat osakokonaisuudet (Webasto seminaarikiertue 2017)

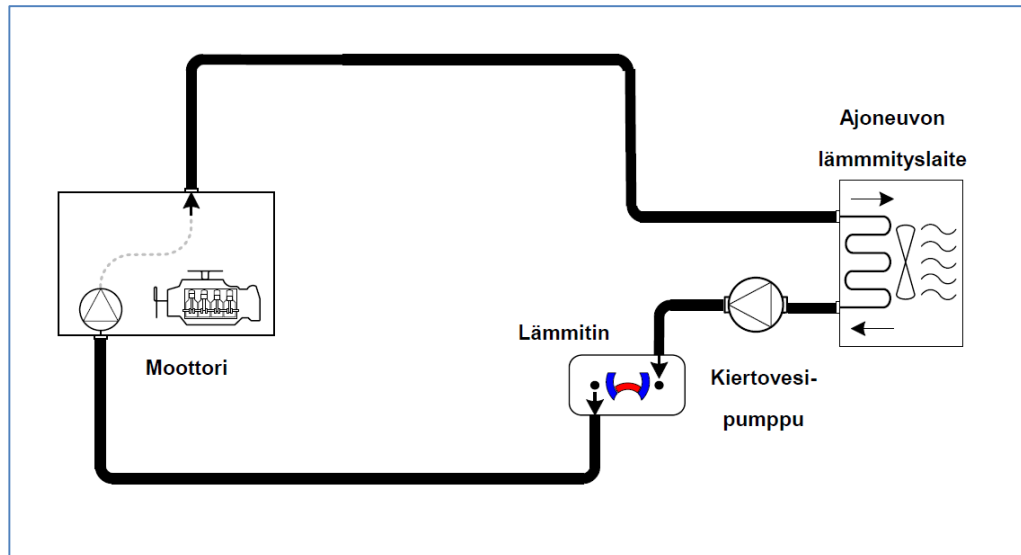
Sovelluksesta riippumatta Webasto Thermo Top Evo-lämmitinjärjestelmissä on aina samat peruskomponentit: lämmitin, vesipumppu, annostelupumppu, pääjohtosarja, rele/sulakepidin, sekä dokumentaatio. Tämän lisäksi perusasennukseen tarvitaan liittimiä, letkuja, putkia ja muita tarvikkeita. (Henkilöautolämmittimet asennusperusteet 2018).

Lämmittimen sähköautoasennusta on hyvä lähestyä tutustumalla ensin polttomoottoriajoneuvojen asennusperusteisiin. Nykyaikaisemmat polttomoottorit kykenevät lämpökoneina jopa 40 % termiseen hyötysuhteeseen (Ingram 2014). Perinteisiin moottoreihin verrattuna hukkalämpöä ei synny välttämättä riittävästi, jotta sisätilat lämpenisivät nopeasti. Vesilämmitin soveltuukin hyvin integroitavaksi tähän perinteiseen järjestelmään esilämmittimeksi tai ajonaikaiseksi lisälämmittimeksi. Yksinkertaisimmillaan lämmitin kytketään auton vesikiertoon moottorin ja lämmittimen kennon välille sarjaankytkennällä (Bosch 2014, 1378), kuvion 22 mukaisesti.



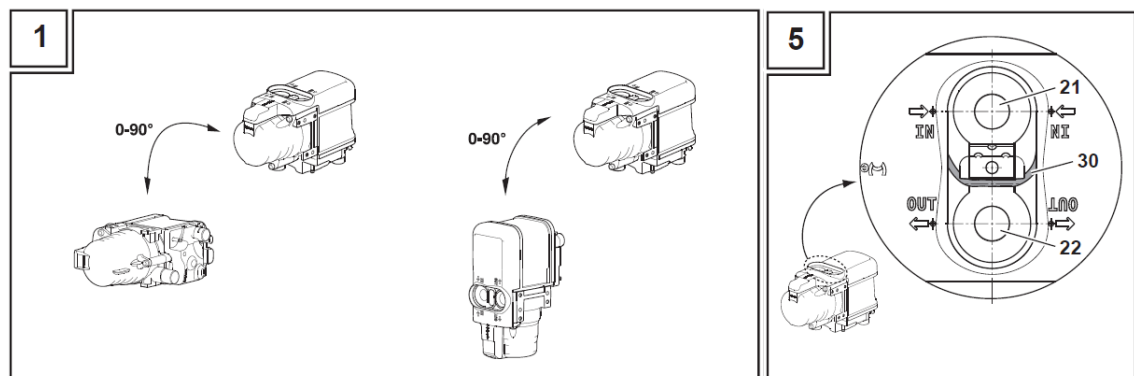
KUVIO 22. Webasto-lämmittimen sarjaan asennus polttomoottoriajoneuvon nestekierto-
toon (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018)

Mikäli moottorin lämmitys on ensisijaisempaa kuin sisätilojen, tai asennus lämmittimen kennon menopuolelle ei ole jostain syystä mahdollista, voidaan lämmitin asentaa sarjaan kennon paluupuolelle. Tällä ratkaisulla sisätilat lämpenevät heikommin, koska Webasto-laite joutuu lämmittämään ensin moottoria ja sen isoa jäähdytysnestetilavuutta. Lämmitin tulisi siksi asentaa lämmityslaitteen kennon menopuolelle. (Kaha 2018). Paluupuolelle sarjaan asennettu Webasto-lämmitin on esitetty kuviossa 23.



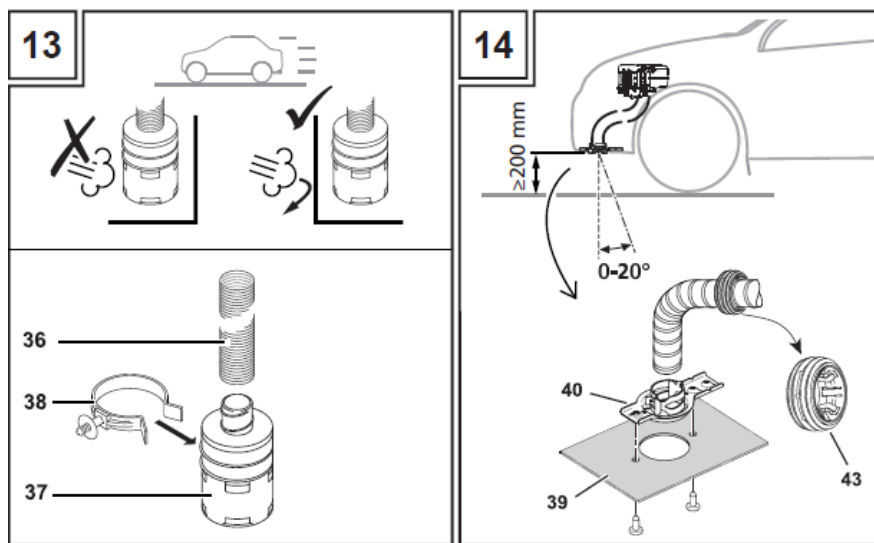
KUVIO 23. Webasto-lämmittimen sarjaan asennus polttomoottoriajoneuvon nestekierto-
on paluupuolelle (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018)

Vesilämmittintä ei saa asentaa ohjeiden vastaiseen asentoon ylikuumentumisen ehkäisemiseksi. Lämmitin tulisi asentaa mahdollisimman alas suhteessa jäähdytysnesteen pintaan, ja sen asennon tulee olla kuvion 24 mukainen. Lämmittimen asentamista tulee miettiä vesiliitäntöjen ja veden kiertosuunnan kautta: lähtevän veden liitännän (out) tulisi aina olla korkeammalla lämmönvaihtimeen ja tuloliitäntään (in) verrattuna. Lievänä poikkeuksena lämmittimen asentaminen sallitaan myös vaakatasoon, jolloin vesiliitännät ovat samalla korkeudella. Lämmönvaihtimen jäähdytysnesteen kierto on suunniteltu niin, että veden kiertosuuntaa ei saa kytkeä ristiin. Näin mahdolliset ilmakuplat eivät jää lämmönvaihtimeen, eikä ylikuumentumista tapahdu. (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018.)



KUVIO 24. Evo-vesilämmittimien sallitut asennusasennot (1) ja vesiliitännät (5) (Asennusohjeet Thermo Top Evo n.d., muokattu)

Lämmittimen asennuksessa on hyvä ottaa huomioon ajoviiman, sekä imu- ja pakoputkiston aiheuttamien paine-erojen vaikutus lämmittimen toimintaan. Putkistot tulisi asentaa ajonaikaista lämmittämistä varten niin, että ajoviima ei pääse aiheuttamaan yli- tai alipainetta kumpaankaan putkistoon, koska tämä voi vaikuttaa paloilmapuhaltimen kautta polttoaineseokseen. Putkien suita ei tulisi etenkään suunnata ajosuuntaa kohti, vaan mieluiten suoraan alaspäin. Paloilmaa ei saa ottaa lämmitettävistä sisätiloista. (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018.) Kuviossa 25 on esitelty imuilman oton ja pakoputkiston suositeltu asennustapa henkilöautoihin.



KUVIO 25. Suositellut vesilämmittimen imu- ja pakoputkiston asennustavat henkilöautoihin (Asennusohjeet Thermo Top Evo n.d.)

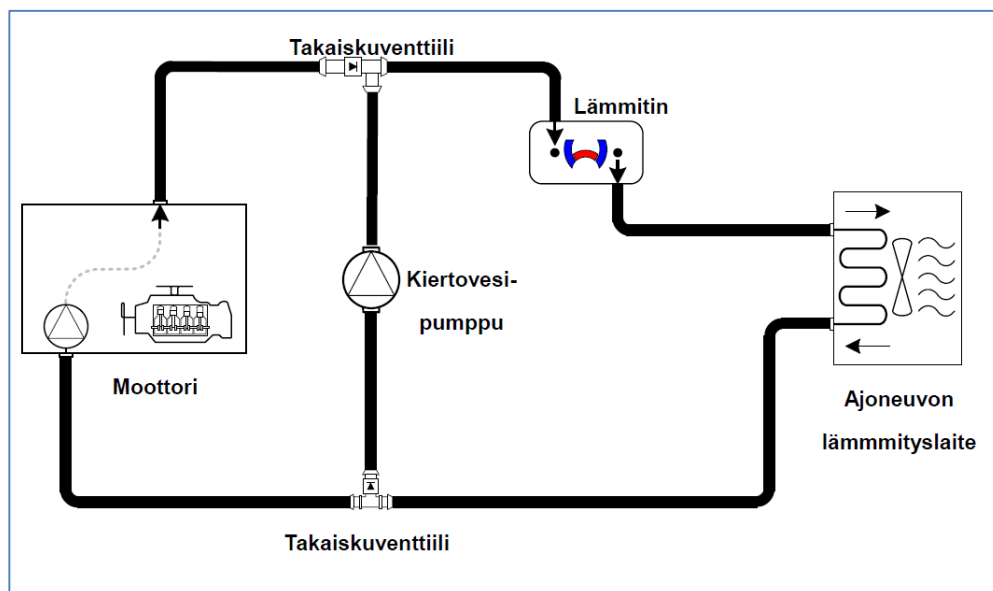
Lämmittimen asennuksen jälkeen suoritetaan yleensä esilämmityksessä auton omaa puhallinmoottoria ohjaava puhallinkytkentä, jonka suorittamista ei käydä tässä yhteydessä sen tarkemmin läpi.

Webasto-asennus viimeistellään lopuksi polttoaine-ilmaseoksen säädöllä. Koska jokaisessa asennuksessa imu- ja pakoputkistot ovat erimuotoiset ja -mittaiset, tulee seoksen säätö suorittaa aina asennuksen päätteeksi. Seos määritetään mittaamalla lämmittimen pakokaasujen CO₂-pitoisuus, sen ollessa käynnissä. Itse säätö tapahtuu paloilmapuhaltimen pyörimisnopeutta muuttamalla Webaston Thermo Test-tietokoneohjelmiston avulla, samalla kun lämmitin on täydellä teholla käynnissä. (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018.)

4.1.3 Webasto ja Euro 6-moottoreiden haasteet

Joissakin tapauksissa Webaston lämmitinasennus on normaalia haasteellisempaa. Ongelmia on etenkin Euro 6-päästöluokan ajoneuvoissa, joissa moottorin ohjainlaite suorittaa pidemmän seisontajakson jälkeen kaikkien moottorin lämpöantureiden toiminnan tarkastuksen. Tarkistustoiminto aiheuttaa joissakin moottoriversioissa OBD-vikakoodin tallentumisen ja MIL-merkkivalon syttymisen. Vika tallentuu, kun auto on ollut pidemmän aikaa pysäköitynä, moottoria on esilämmitetty ja virrat kytketään päälle. Moottorin esilämmittäminen ei ole vikavalosta ja vikakoodeista johtuen siis lähtökohtaisesti mahdollista. (Kaha Webasto Seminaarikiertue 2017).

Kuitenkin valtaosa kuluttajista, jotka ovat tottuneet esilämmittimen mukavuuteen edellisessä autossaan, haluavat myös uudessa autossa etenkin sisätilat lämpimäksi ajastuksella tai kaukosäädöllä. Ratkaisuna tähän Webasto tarjoaa sovelluksia, joissa moottorin jäähdytysnestepiiri on eristetty sisätilojen lämmityspiiristä yksisuuntaventtiileillä (ns. takaiskuventtiili). Kun esilämmittintä käytetään, ainoastaan sisätiloja lämmitetään. (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018). Vesikytkentä on esitetty kuviossa 26.



KUVIO 26. Webasto-lämmittimen asennus pelkästään sisätilojen lämmittämiseen (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018.)

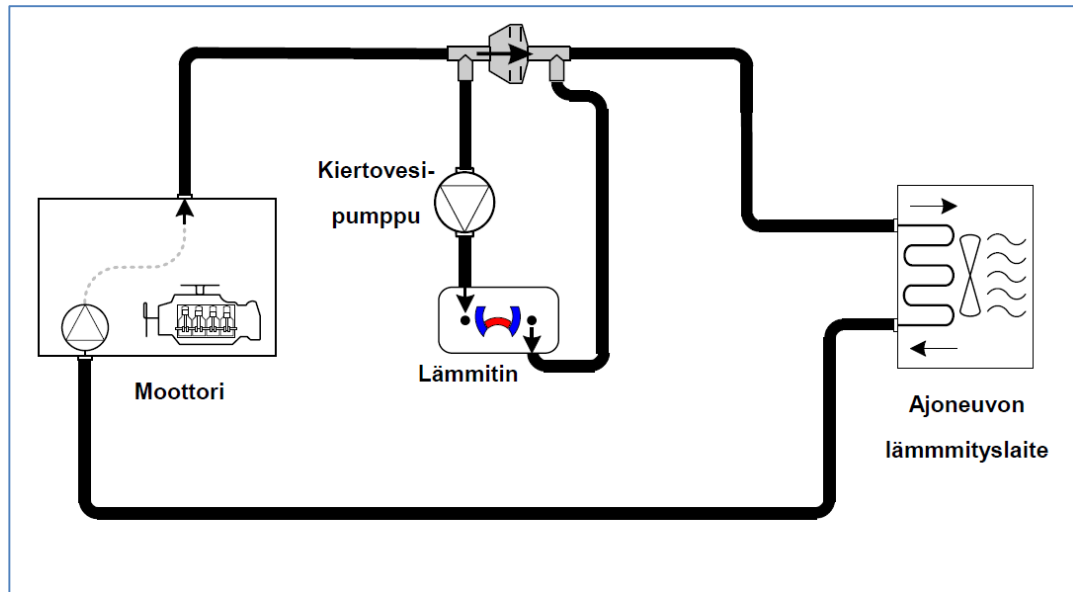
Polttimoottorin esilämmitys on kuitenkin Motivan (2013) mukaan usein hyödyllistä ja joskus jopa välttämätöntä auton käynnistymiseksi kylmässä. Vaikka Puolitaipaleen (2018) mukaan nykyisen moottoriteknologian kanssa tämä uskomus ei välttämättä enää

pidä paikkaansa, monet asiakkaat haluavat huolehtia autonsa moottorista, joten he haluavat Webaston lämmittävän sisätilojen ohella ehdottomasti myös moottoria. Tämän vuoksi Webasto, autonvalmistajat ja Kaha ovat kehittäneet erilaisia tapoja, joilla myös moottoria voidaan esilämmittää. Vesikierron asennus tehdään tällöin kuvion 22 mukaisella sarjaan asennuksella, koska tämä on sisätilojen ja moottorin lämmittämisen kannalta suositeltu asennustapa.

Vaihtoehtoja, joilla lisälämmitin saadaan toimimaan, on kolme. Ensimmäisessä ratkaisussa auton moottorin ohjainlaite päivitetään valmistajan toimesta niin, ettei esilämmityksestä synny enää vikakoodia. Toisessa vaihtoehdossa moottorin ohjainlaite voidaan ”herättää” tekemään anturitarkistus lämmityksen aloitusvaiheessa, kun jäähdytysneste on vielä kylmää. Kolmas vaihtoehto on moottorin lämpötilatiedon vääristäminen anturitarkistuksen ajaksi. Kaikkiin Euro 6-autoihin nämä tunnetut keinot eivät kuitenkaan tepsii. Silloin moottorin esilämmittäminen ei ole lainkaan mahdollista, ja Webasto-asennuksessa joudutaan tyytymään pelkkään sisätilojen lämmitykseen. (Kaha Webasto Seminaarikierue 2017).

4.1.4 Pitkät letkutukset ja Individual select

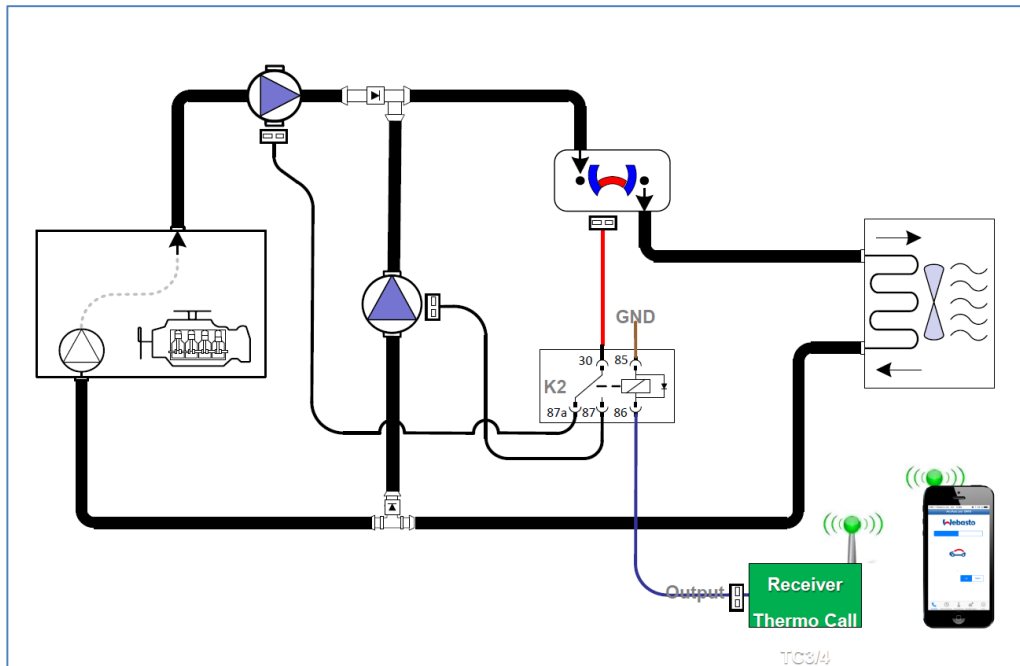
Joissakin tapauksessa moottorin, Webasto-lämmittimen ja lämmityslaitteen kennon väliset pitkät letkutukset tuottavat ongelmia. Lämmittimen sarjaan asennuksessa moottorin tuottama lämpö ei pitkien välimatkojen vuoksi riitäkään lämmittämään sisätiloja ajon aikana, kun lämmitin on pois päältä. Pitkät letkutukset hukkaavat lämpöä ympäristöön niin, että sisälle saadaan ainoastaan haaleata ilmaa, vaikka moottori olisikin toimintalämpötilassaan. Ratkaisuna tähän on kuvion 27 mukainen nelitieventtiilillä varustettu kytkentä. (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018.)



KUVIO 27. Nelitieventtiilillä varustettu Webasto-lämmittimen asennus pitkiä letkukuksia varten (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018)

Kuvion 27 nelitieventtiilillä varustettu järjestelmä mahdollistaa tehokkaan lämmönsiirron moottorilta lämmityslaitteelle, kun lämmitintä ei käytetä. Kun moottori on käynnissä mutta lämmitin ei ole päällä, ei Webaston kiertovesipumppukaan ole silloin päällä. Valtaosa auton oman vesipumpun tuottamasta virtauksesta kulkeutuu tällöin suoraan nelitieventtiilin läpi lämmittimen kennolle. Vastaavasti esilämmitystilanteessa moottorin oma vesipumppu ei ole toiminnassa ja silloin Webaston kiertovesipumppu imee jäähdytysnestettä moottorilta ennen nelitieventtiiliä. Lisälämmitin kuumentaa virtaavan nesteen ja nelitieventtiili ohjaa sen eteenpäin lämmityslaitteelle. Nelitieventtiilissä on yksisuuntaventtiili, joka estää jäähdytysnesteen kulkeutumisen takaisin kiertovesipumpun imupuolelle. Mikäli ajettaessa halutaan lisälämmittää, Webaston vesikierto toimii sekundäärisenä piirinä. Piirissä suurin osa nesteestä kulkeutuu moottorilta lämmittimen ohi suoraan lämmityslaitteelle. Osa nesteestä imetään kiertovesipumpun avulla lämmitettäväksi ja tästä edelleen lämmityslaitteelle. (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018.)

Webastolla on tarjota myös useamman kiertovesipumpun järjestelmä, niin kutsuttu Individual select. Tässä järjestelmässä voidaan valita, että lämmitetäänkö pelkkiä sisätiloja, vai sisätiloja ja moottoria. KytKentä on esitetty kuviossa 28. Valitsemalla alempi kiertovesipumppu, pelkkä sisätilojen lämmitys on käytössä. Moottorin ja sisätilojen lämmitys on käytössä, kun käyttölaiteella valitaan ylempi pumppu. (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018.)



KUVIO 28. Webasto Individual select, jonka ohjaus on toteutettu Thermo Call-käyttölaiteella (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018)

Webasto-vesilämmittimien integroiminen on siis tehtävissä hyvinkin erilaisiin poltto-moottoritekniikan automalleihin. Useita ratkaisuja on tehty ja tehdään edelleen erilaisiin asennus- ja toimintaongelmiin liittyen.

4.1.5 Tekniset ominaisuudet

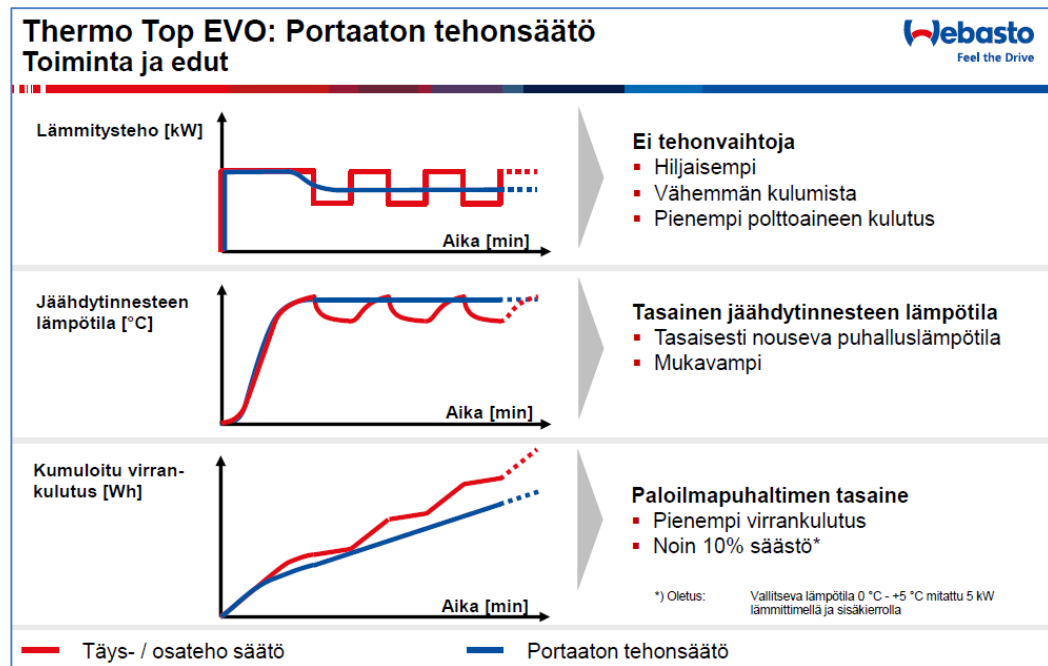
Thermo Top Evo-vesilämmittimen asennuksessa on automallikohtaisten ja yleisten ohjeiden lisäksi myös yleisiä järjestelmävaatimuksia. Koska Webasto ei ole julkaissut asennusohjeita yhteenkään sähköautoon, on mahdollisessa sähköauton lämmitinasennuksessa noudatettava yleisiä asennusohjeita. Esimerkiksi polttoainelinjan maksimipituus polttoaineen annostelupumpun ja lämmittimen välillä on 9 metriä, eikä polttoainesäiliön ja annostelupumpun korkeusero saa olla yhtä metriä enempää. Lisäksi polttoaineen imulinjan pituus tankin ja pumpun välissä saa olla maksimissaan 3,0 m. (Installation Instructions Thermo Top Evo n.d.). Asennusta voidaan lähestyä myös lämmittimen teknisten ominaisuuksien näkökulmasta. Thermo Top Evo-lämmittimien tekniset tiedot on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Thermo Top Evo-lämmittimien tekniset tiedot (Installation Instructions Thermo Top Evo n.d.)

Heater	Operation	Thermo Top Evo B		Thermo Top Evo - D	
		5 kW	4 kW	5 kW	4 kW
ECE approval mark		E1 122R 00 0258 (heater) E1 10R 04 5627 (EMC)			
Model		Water heater with evaporator-type burner			
Heat output	max. heating capacity min. heating capacity	5.0 kW 2.8 kW	4.0 kW 2.8 kW	5.0 kW 2.5 kW	4.0 kW 2.5 kW
Fuel		Petrol EN 228 DIN 51625		Diesel EN 590	
Fuel consumption +/- 10%	max. heating capacity min. heating capacity	0.705 l/h 0.395 l/h	0.560 l/h 0.395 l/h	0.620 l/h 0.310 l/h	0.495 l/h 0.310 l/h
Rated voltage		12 V			
Operating voltage range		10,5 to 17 V			
Nominal power consumption +/- 10% (without circulation pump and vehicle fan)	max. heating capacity min. heating capacity	33 W 15 W	21 W 15 W	33 W 12 W	21 W 12 W
Perm. ambient temp.: Heater: - Operation - Storage Metering pump: - Operation - Storage	Summer fuel Winter fuel	-40 to +60 °C -40 to +120 °C -40 to +20 °C -40 to +10 °C -40 to +90 °C		-40 to +80 °C -40 to +120 °C -40 to +30 °C -40 to +90 °C	
Perm. operating pressure		2.5 bar			
Capacity of the heat exchanger		0.075 l			
Minimum quantity of coolant circuit		2.0 + 0,5 l			
Minimum flow rate for the heater		200 l/h			
CO ₂ in exhaust gas (perm. function range)		8 to 12.0 vol.%			
Dimensions of heater without attached parts Also see Fig. 2. (Tolerance ± 3 mm)		L = Length: 218 mm B = Width: 91 mm H = Height: 147 mm without coolant connection piece			
Weight		2.1 kg			

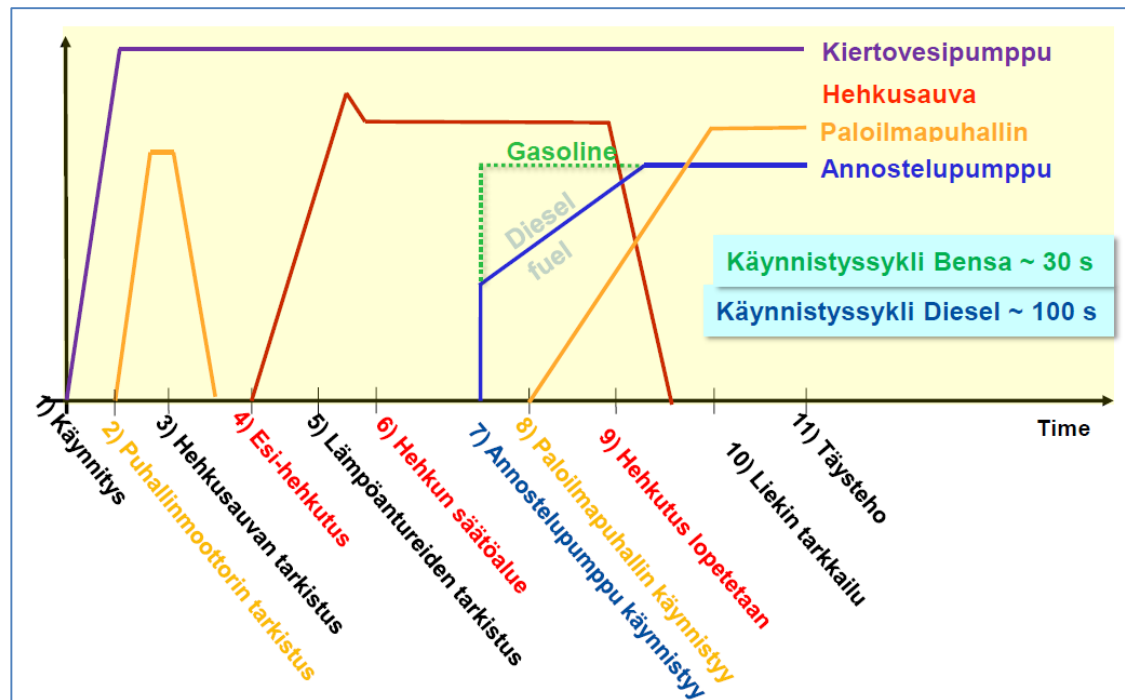
Taulukon 4 keskeisimpiä tietoja ovat se, että vesilämmitin vaatii tilavuudeltaan vähintään 2 litran kokoisen nestekierron, sekä tähän päälle 0,5 litran kokoisen paisuntasäiliön. Teknisistä tiedoista nähdään myös se, että itse lämmittimen sähkökulutus ei ole merkittävää sen ollessa käynnissä. Kiertovesipumppu operoi vastaavalla jännitealueella kuin lämmitinkin, ja sen tehonkulutus on valmistajan ilmoituksen mukaan vain 14 W (Installation Instructions Thermo Top Evo n.d.). Koska koko järjestelmän sähkötehon kulutus ei ole suurta, melko pienellä uhrauksella auton akuston energiasta saadaan tuotettua suuria määriä lämpöenergiaa. Kokonaissähkökulutukseen on tosin laskettava mukaan myös auton oman puhallinmoottorin kuluttama sähkö.

Thermo Top Evo-vesilämmittimet kykenevät säätämään toimintaansa portaattomasti osatehon ja maksimitehon väliltä. Lämmitin tarkkailee jäähdytysnesteen lämpötilaa lämmönvaihtimessa ja säätää toimintaansa sen mukaan. Evo-sarjaa edeltävissä lämmittimissä, kuten Thermo Top C:ssä lämmitin säätää tehoaan asteittain osa- ja maksimitehon välillä, joka sai aikaan jäähdytysnesteen lämpötilan vaihtelua likimain arvojen 70 °C ja 80 °C välillä. (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018.) Uusien Evo-lämmitinten ja vanhojen lämmitinten toimintaa kuvaavia eroja on esitetty kuviossa 29.



KUVIO 29. Thermo Top Evo-lämmittimen portaattoman tehonsäädön edut edeltäjämalliin verrattuna (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018)

Webasto-lämmittimien käynnistyssykli on kuvion 30 mukainen. Turvallisuuden vuoksi lämmitin tekee kaikille antureille ja paloilmapuhaltimelle toiminnan tarkastukset, aina ennen kuin polttoainetta aletaan syöttämään. Jos yhdessäkään komponentissa, kuten vaikkapa hehkusauvassa, havaitaan vikaa, lämmitin tunnistaa vian, tallentaa vikakoodin ja ei lähde jatkamaan normaalia käynnistyssykliä lainkaan. Polttoaineen syöttö katkaistaan myös vikatilanteissa välittömästi. Tämä parantaa lämmittimen turvallisuutta, ja yhdessä itsediagnoosiominaisuuden kanssa niin vesi- kuin ilmalämmittimet ovatkin turvallisia käyttää.



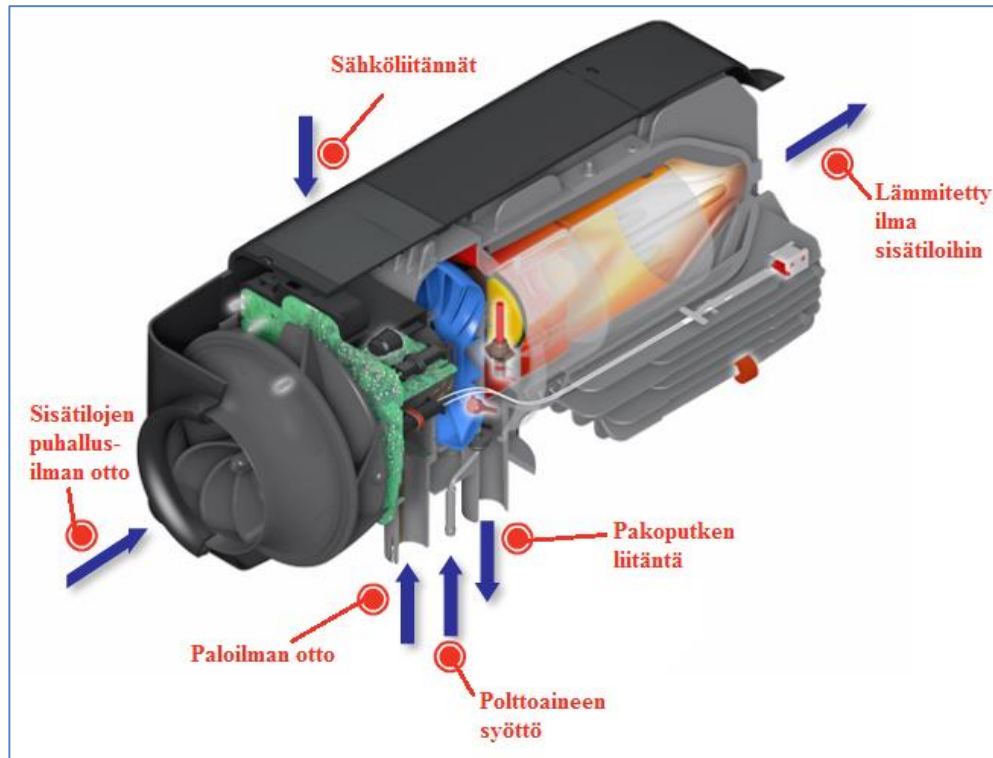
KUVIO 30. Webasto-lämmittimien käynnistys sykli (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018)

4.2 Ilmalämmittimet

4.2.1 Perusteet ja toiminta

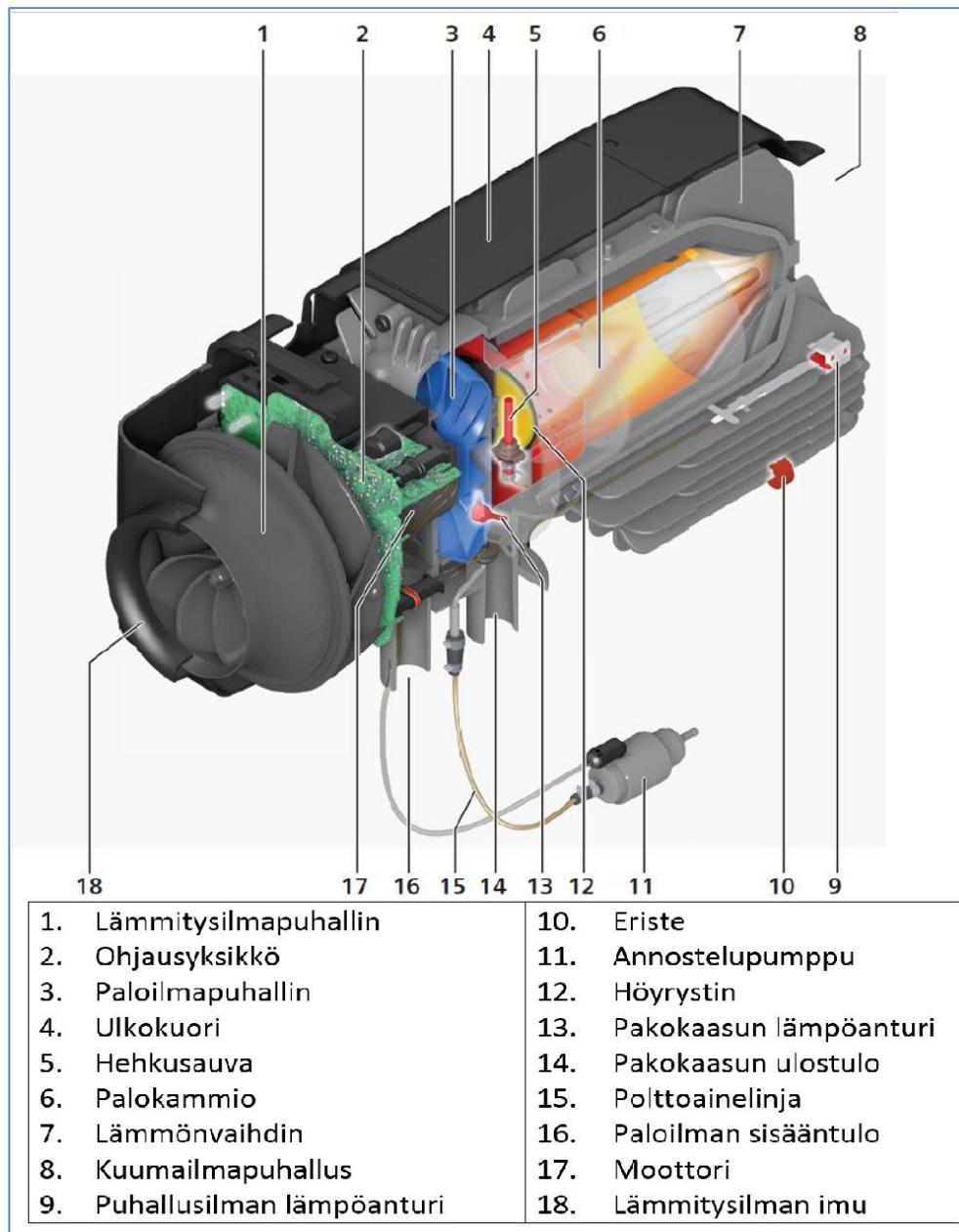
Ilmalämmittimet ovat toiminnaltaan samantyyppisiä kuin vesilämmittimetkin. Toisin kuin vesilämmittimissä, palamisessa tuotettua lämpöä siirretään ilmaan, joka johdetaan suoraan lämmitettävään tilaan. Ilmalämmittimet ovat suosittuja kuorma-autojen ja linja-autojen sisätilojen lämmitykseen. Muita käyttökohteita ovat veneet, matkailuajoneuvot, sekä erikoissovellukset, kuten sotilasajoneuvot. (Air Top Evo 40 / 55 Introduction Training 2018). Ilmalämmittimet sopivat erityisen hyvin pitkäkestoiseen sisätilojen lämmittämiseen. Ilmalämmittimien etuja ovat alhainen hinta, nopea asennus, sekä alhainen polttoaineen ja sähkön kulutus. (Bosch 2014, 1376).

Ilmalämmittimen keskeisimmät liitännät on esitelty kuviossa 31.



KUVIO 31. Air Top Evo 40/55-lämmittimen läpileikkaus ja liitännät (Webasto International Training 2018, muokattu)

Webasto valmistaa ilmalämmittimiä moniin eri käyttökohteisiin. Viimeisimmän sukupolven lämmittimet ovat Air Top ja Air Top Evo-mallisarjan lämmittimet, joita saa teholuokista 2 kW aina 5,5 kW asti. Tässä työssä tutustutaan tarkemmin Air Top Evo 40- ja Evo 55-malleihin. Luku mallinimen perässä tarkoittaa suurimmalta teholtaan joko 4 kW tai 5,5 kW tehoista lämmitintä. Kuten Webaston vesilämmittimissä, myös ilmalämmittimien poltin on höyrystinpoltin. (Webasto International Training 2018). Air Top Evo-lämmittimen läpileikkaus ja keskeisimmät komponentit on esitelty kuviossa 32.



KUVIO 32. Air Top Evo 40/55-lämmittimen poikkileikkaus ja komponentit (Kaha Ilmalämmitysjärjestelmä veneet 2017, muokattu)

Ilmalämmittimessä palamistapahtumaan liittyvät komponentit ja periaate ovat samankaltaiset kuin vesilämmittimessäkin. Paloilmapuhallin, annostelupumppu, höyrystin, paloputki ja hehkutulppa toimivat kuten vesilämmittimissäkin. Eroja ilmalämmittimissä on se, että liekin tunnistukseen käytetään hehkusauvan sijaan pakokaasun lämpötunnistinta (13). Pakokaasujen lämpötunnistin on tarkempi tapa määrittää liekin syttyminen ja koostumus, mikä tuo ilmalämmittimille muutamia toiminnallisia etuja. (Kaha Ilmalämmitysjärjestelmä veneet 2017).

Pakokaasujen lämpötunnistimen lisäksi keskeisimmät erot vesilämmittimiin ovat seuraavat: ilmalämmittimissä on lämmitysilmapuhallin (1) joka imee raitista ilmaa ulkoilmasta ja ohjaa sen lämmönvaihtimeen. Kuumien palokaasujen lämpö siirtyy laitteen läpi virtaavaan lämmitysilmaan. Lämmitysilman ja lämmönvaihtimen lämpötilaa mitataan puhallusilman lämpötunnistimella (9). Joissakin malleissa kyseistä tunnistinta nimitetään yllilämpösuojaksi. Ongelmatilanteissa (esimerkiksi tukos kuumailmapuhalluksessa) lämpötunnistin välittää muuttuneen vastusarvon ohjausyksikölle (2), joka sammuttaa polttoaineen syötön hyvissä ajoin ennen kuin lämpötila nousee liian korkeaksi. Ohjausyksikön yhteydessä on myös lämmittimeen imettävän lämmitysilman lämpötila-anturi. Puhallusilma johdetaan lämmönvaihtimelta edelleen lämmitettäviin sisätiloihin (8). (Kaha Ilmalämmitysjärjestelmä veneet 2017).

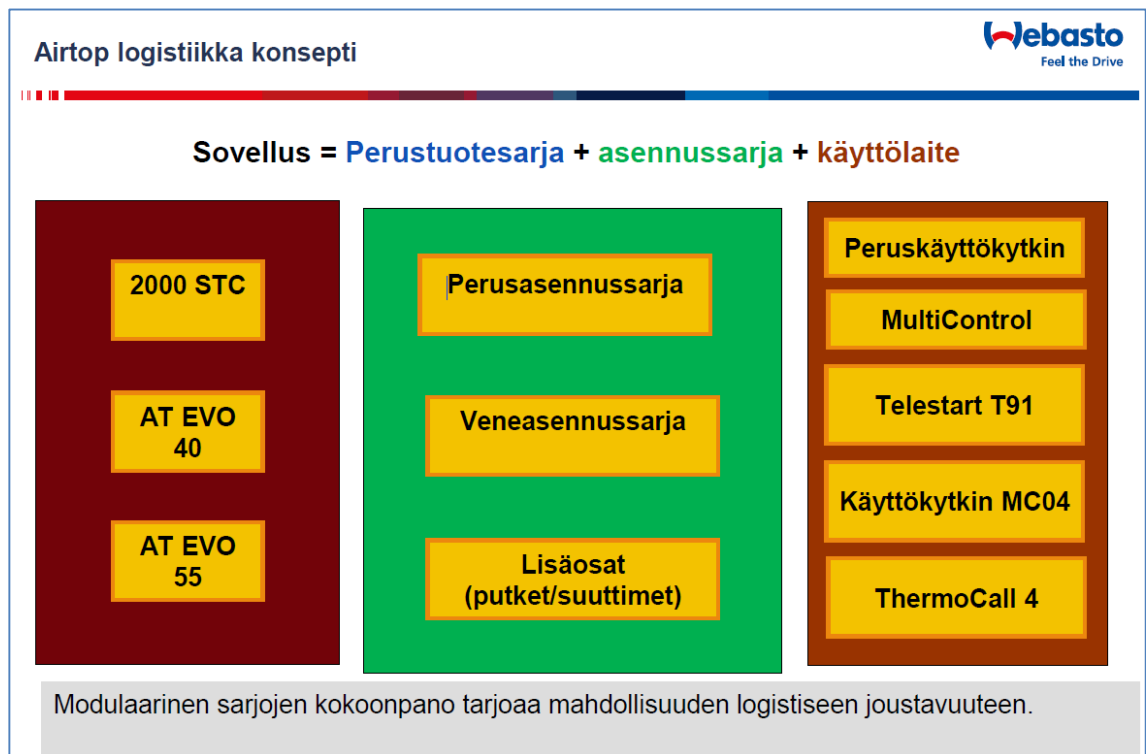
Lämmitin toimii itsenäisesti, ja pitää lämmitettävän tilan lämpötilan haluttuna joko ulkoisen lämpötilatunnistimen tai lämmittimeen imettävän ilman lämpötunnistimen kautta. Ohjainlaite vertaa sisätilan lämpötilaa käyttölaitteella määritettyyn asetuslämpötilaan, ja päättää tämän perusteella, kuinka paljon lämpöä tuotetaan. Polttimelle menevän polttoaineen määrää sekä puhallinmoottorin pyörintänopeutta ohjaamalla, saadaan tuotettua portaattomasti lämpötehoa osatehon ja maksimitehon väliltä. Vesilämmittimistä eroavan käyttötarkoituksen takia ilmalämmittimien osateho-alue on tyypillisesti laajempi. Esimerkiksi Evo 40-malli tuottaa tehoa 1,5 ... 4,0 kW välillä. (Kaha Ilmalämmitysjärjestelmä veneet 2017).

Evo-lämmittimissä on lisäksi ominaisuutena laajennetun lämmitystehon toiminto, eli booster-toiminto. Booster-toimintatavalla lämmitin käy korotetulla lämmitysteholla rajoitetun ajan. Tämä mahdollistaa halutun lämpötilan saavuttamisen mahdollisimman nopeasti. Evo 40-mallissa booster-teho on 4 kW ja se on käytettävissä 6 tunnin ajan. Nimellisteho on 3,5 kW. Evo 55-mallissa osatehon ja nimellistehon alue on 1,5...5,0 kW ja booster-teho on nimen mukaisesti 5,5 kW. Booster-toiminto on käytettävissä vain 30 minuutin ajan. (Kaha Ilmalämmitysjärjestelmä veneet 2017).

Tärkeä turvallisuustekijä on se, etteivät kuumat palokaasut sekoitu sisätiloihin menevän ilman kanssa. Näin ilmalämmittimen tuottamat pakokaasut eivät pääse missään vaiheessa sisätiloihin. (Bosch 2014, 1376).

4.2.2 Ilmalämmittimien asennusperusteet

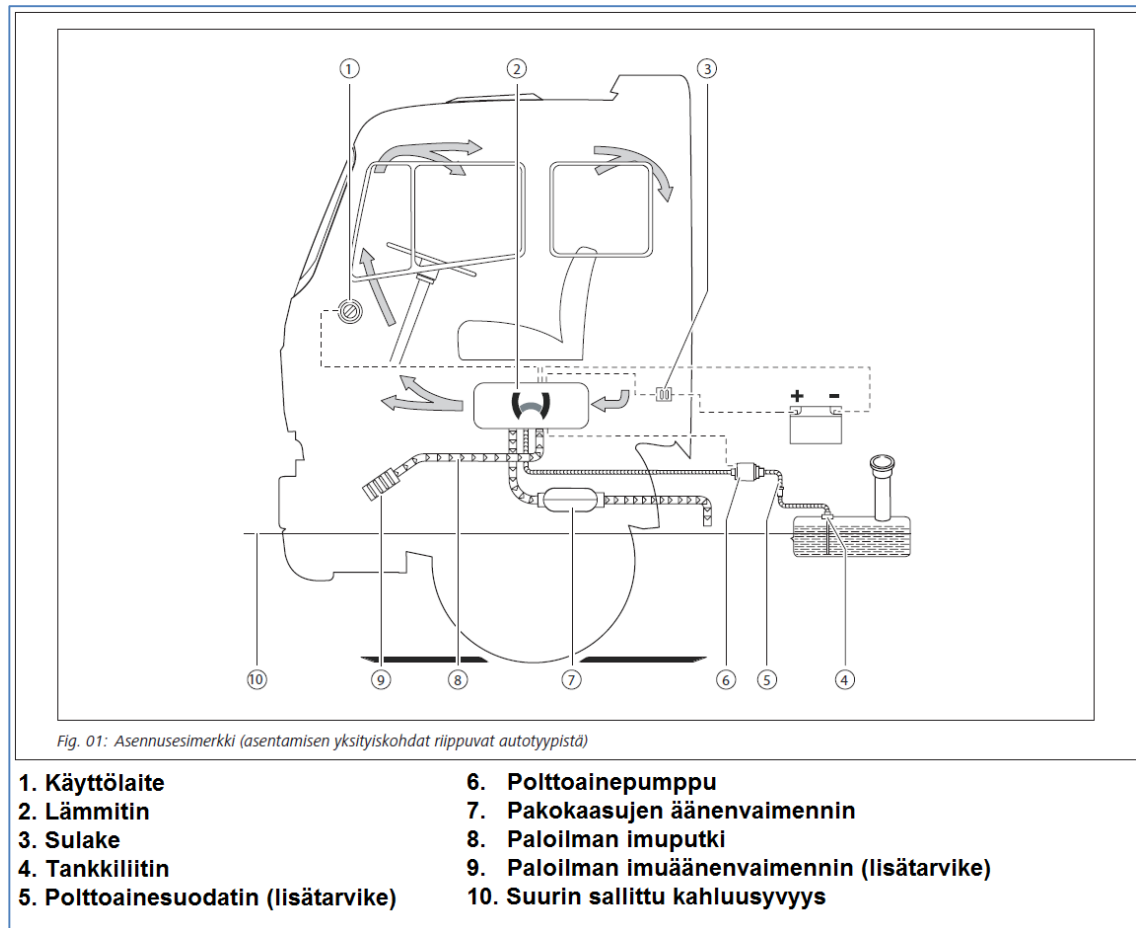
Toimivaan ilmalämmitysjärjestelmään tarvitaan kuvion 33 mukaisesti perustuotesarja, asennussarja, sekä käyttölaite. Perustuotesarja sisältää ilmalämmittimen ja polttoainepumpun. (Kaha Ilmalämmitysjärjestelmä veneet 2017).



KUVIO 33. Webasto Air Top-ilmalämmittimien asennukseen tarvittavat osakokonaisuudet venekäytössä (Kaha Ilmalämmitysjärjestelmä veneet 2017)

Raitisilman, kuumen puhallusilman, paloilman ja pakokaasujen johtamiseen on saatavilla runsaasti erilaisia letkuja, putkia ja suuttimia, joilla asennus on toteutettavissa turvallisesti eri sovelluksiin. Monet osista, kuten annostelupumppu DP42 ja MultiControl-käyttölaite ovat kustannusten säästämiseksi täysin samat kuin Thermo Top Evo-vesilämmittimissä. (Kaha Ilmalämmitysjärjestelmä veneet 2017).

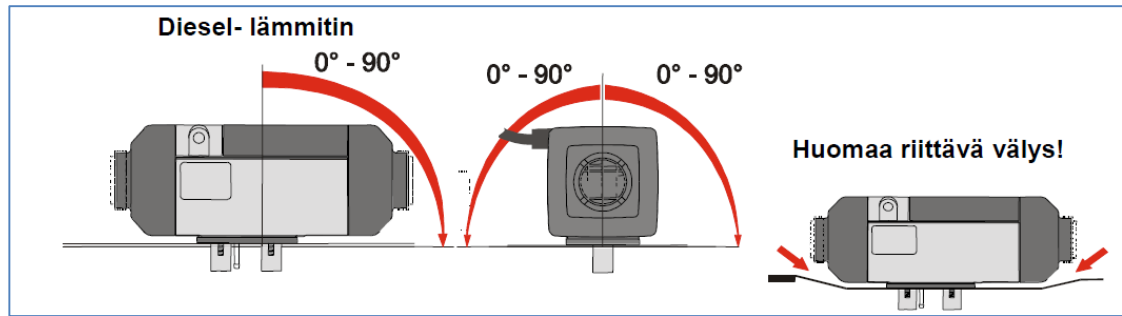
Asennuksessa lämmitin voidaan sijoittaa joko lämmitettävän tilan sisä- tai ulkopuolelle. Lämmitin asetetaan usein suoraan lämmitettävän tilan sisään, esimerkiksi kuorma-autoissa ohjaamoiden takaseinää vasten. Pakoputki ohjataan kulkemaan lattian alla, vaikkapa pyöräkoteloon tai suoraan hytin takaseinästä läpi. (Bosch 2014, 1377). Kuviossa 34 on esitelty tyypillinen kuorma-auton ohjaamoasennus.



KUVIO 34. Ilmalämmittimen asennusesimerkki (Asennusohje ilmalämmittimet Air Top Evo 40 / 55 n.d., muokattu)

Kuvion 34 sisäkiertoasennuksella ei saada raitista ilmaa sisätiloihin ja ilman vaihtumisesta on varmistettava muilla keinoin. Siksi suositeltu tapa kaikissa matkustamotiloissa on ottaa lämmitettävä ilma aina tilan ulkopuolelta, jotta tiloihin saadaan lämmitettyä, raitista ilmaa. Sisätilojen lämpötilaa tulee tällöin mitata ulkoisella sisätilan lämpöanturilla, jolloin lämmitin osaa säätää toimintaansa ja pitää lämpötilan haluttuna. (Kaha Ilmalämmitysjärjestelmä veneet 2017). Esimerkiksi kuorma-auton ohjaamo ei lämpene kylmästä raitisilmakerrolla aivan yhtä nopeasti tavoitelämpötilaansa kuin sisäilmakerrolla, mutta tila lämpenee silti usein melko nopeasti.

Ilmalämmittimet ovat asennettavissa vain vaakatasoon, tai siten, että kuuman ilman puhallus osoittaa alaspäin. Diesellämmitin saa osoittaa kohtisuoraan alaspäin kuvion 35 mukaisesti. (Kaha ilmalämmitysjärjestelmä veneet 2017).



KUVIO 35. Air Top Evo-diesellämmittimien sallittu asennusasento (Kaha ilmalämmitys-järjestelmä veneet 2017, muokattu)

Bensiinilämmittimen asennusasennot ovat muuten samat, mutta kuuman ilman puhallus saa poiketa ainoastaan 30 ° vaakatasosta alaspäin. Bensiinikäyttöinen ilmalämmitin on tosin nykyisissä sovelluksissa harvinaisuus, koska ilmalämmittimiä käytetään yleisimmin raskaassa kalustossa ja veneissä. Raskaassa kalustossa laitteen polttoaineena on lähes poikkeuksetta diesel tai moottoripolttoöljy, ja veneissä bensiinikäyttöiset lisälaitteet ovat olleet kiellettyjä jo jonkin aikaa. Siksi vaikka veneessä olisikin bensiinimoottori, siihen saa asentaa vain dieselkäyttöisen lämmittimen. Webasto kuitenkin valmistaa ilmalämmittimiä myös bensiinikäyttöisinä. (Kaha ilmalämmitys-järjestelmä veneet 2017).

Puhallusilman oton, paloilman oton ja pakoputken asennuksessa on otettava ajoviima huomioon. Liikkeestä aiheutuva ilmavirtaus voi aiheuttaa yli- tai alipainetta putkistoihin, ja sekoittaa lämmittimen toiminnan, aivan kuten vesilämmittimissäkin. Myöskään ilmalämmittimien paloilmapuhaltimen imemää ilmaa ei saa ottaa lämmitettävistä sisätiloista. (Asennusohje ilmalämmittimet Air Top Evo 40 / 55 n.d.)

Ilmalämmittimen asennuksessa on lisäksi noudatettava viranomais määräyksiä, valmistajan ohjeita ja yleisiä, hyviä asennustapoja. Useat vesilämmittimiä koskevat asennusohjeet ja -käytännöt pätevät myös ilmalämmittimille. Myös Air Top Evo-lämmittimien asennus viimeistellään lämmittimen ohjeiden mukaisella CO₂-säädöllä. (Asennusohje ilmalämmittimet Air Top Evo 40 / 55 n.d.)

4.2.3 Tekniset ominaisuudet

Webaston ilmalämmittinten tekniset ominaisuudet ovat samantyyppisiä kuin Thermo Top Evo-vesilämmittimissä. Esimerkiksi polttoaineen syöttöön liittyvät tekniset vaatimukset

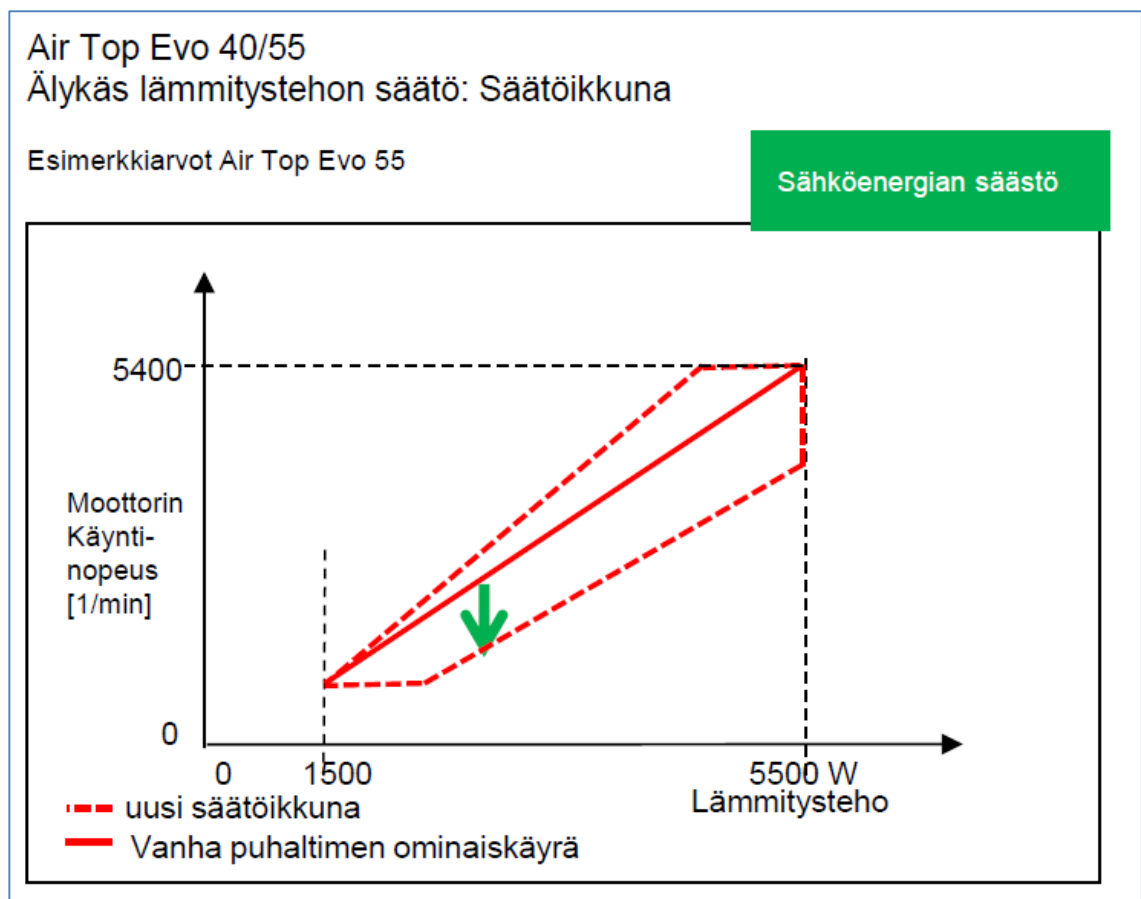
ovat käytännössä samat, koska monet komponenteistakin ovat samoja (Kaha Ilmalämmitysjärjestelmä veneet 2017). Air Top Evo-lämmitinten tekniset tiedot on esitetty taulukossa 5. Tiedot ovat voimassa kun ympäristön lämpötila on + 20 °C, geodeettinen korkeus on meren pinnan tasolla ja laitteelle syötetään nimellisyännitettä. Lämmittimille tyypilliset $\pm 10\%$ toleranssit ovat voimassa, mikäli muita raja-arvoja ei ole ilmoitettu. Suluissa olevat arvot tarkoittavat rajoitetun ajan päällä olevan booster-toiminnon arvoja. (Installation Instructions Air heaters Air Top Evo 40 / 55 n.d.)

TAULUKKO 5. Air Top Evo-lämmittimien tekniset tiedot (Installation Instructions Air heaters Air Top Evo 40 / 55 n.d.)

Heater	Air Top Evo 40 B	Air Top Evo 40 D	Air Top Evo 55 B	Air Top Evo 55 D
Type approval: EMC	E1 03 5529			
Type approval: Heating	E1 00 0385		E1 00 0386	
Design	Air heater with vaporising burner			
Heat flow over control range [kW]	1.7 to 3.5 (4.0)	1.5 to 3.5 (4.0)	1.7 to 5.0 (5.5)	1.5 to 5.0 (5.5)
Fuel	Petrol DIN EN 228	Diesel / biodiesel DIN EN 590/ DIN EN 14214	Petrol DIN EN 228	Diesel / biodiesel DIN EN 590/ DIN EN 14214
Fuel consumption over control range	0.18 to 0.38 (0.43) kg/h 0.25 to 0.51 (0.58) l/h	0.15 to 0.36 (0.41) kg/h 0.18 to 0.43 (0.49) l/h	0.18 to 0.54 (0.59) kg/h 0.25 to 0.73 (0.80) l/h	0.15 to 0.51 (0.56) kg/h 0.18 to 0.61 (0.67) l/h
Rated voltage [V]	12	12 / 24	12	12 / 24
Operating voltage range [V]	10.5 to 16	10.5 to 16 / 20.5 to 31	10.5 to 16	10.5 to 16 / 20.5 to 31
Rated power consumption over control range [W]	15 to 40 (55)		15 to 95 (130)	
Permissible ambient temperature (operation/storage): Heater [°C]	-40 to +40 / -40 to +85			
Permissible ambient temperature (operation/storage): Fuel pump [°C]	-40 to +20 / -40 to +85			
Permissible combustion air intake temperature [°C]	-40 to +20			
Setpoint temperature range [°C]	+5 to +35			
Volumetric flow rate with pressure loss in cold/hot air system 0.5 hPa [m ³ /h]	max. 132 (140)		max. 200 (220)	
CO ₂ in exhaust gas: Rated heating capacity VL [kW]	3.5		5.0	
CO ₂ in exhaust gas: CO ₂ rated value VL [vol%]	8.9	9.2	10.0	
Heater length [mm]	423 ± 2			
Heater width [mm]	148 ± 1			
Heater height [mm]	162 ± 1			
Heater weight [kg]	5.9			
IP class: Heater	IP5K4K			
IP class: Fuel pump	IPX6 / IPX7 / IP6K9K			
Max. length of combustion air line and exhaust line with exhaust silencer [m]	2			
Max. length of combustion air line and exhaust line without exhaust silencer [m]	5			
Max. permissible pressure loss in cold and hot air system [hPa]	2.0		3.0	

Jos ilmalämmitinten ominaisuuksia verrataan saman kokoluokan Thermo Top Evo-lämmittimiin, on niiden polttoaineen kulutus ja tehot samankaltaisia kuin vesilämmittimissä. Thermo Top-Evo lämmittimissä ei tosin ole käytettävissä booster-teho-ominaisuutta. Websterin ilmalämmittimissä on muutama muukin toiminnallinen ero vesilämmittimiin verrattuna.

Air Top Evo-lämmittimissä on vesilämmittimien tavoin mahdollisuus portaattomaan tehonsäätöön osa- ja maksimitehon välillä. Ilmalämmittimen tehonsäätö on kuitenkin erilainen vesilämmittimiin verrattuna. Perinteisen ilmalämmittimen tehonsäätö on suoraan riippuvainen paloilmapuhaltimen ja lämmitysilmapuhaltimen pyörintänopeudesta. Puhaltimet ovat akseloitu kiinteästi samaan sähkömoottoriin, joten niiden keskinäinen pyörintänopeus on aina sama. Tuotettu lämpöteho on siis suoraan riippuvainen puhallinmoottorin pyörintänopeudesta. Air Top Evo-lämmittimet pystyvät kuitenkin säätämään polttoaineen ja ilman seosta rikkaammalle tai laihemmalle aina tarvittaessa. Seossäätö on mahdollista pakokaasujen tarkemman lämpötilan mittauksen avulla. Säätö tapahtuu ohjaamalla annostelupumppua ja puhallinmoottoria itsenäisesti erityisen säätöikkunan puitteissa. Säätöikkuna tuo joissakin tilanteissa nopeamman sisätilojen lämmityksen, ja joissakin tilanteissa se säästää sähköä. Lineaarisen riippuvuuden ja uuden säätöikkunan ominaisuudet Evo 55-ilmalämmittimelle on esitelty kuviossa 36.



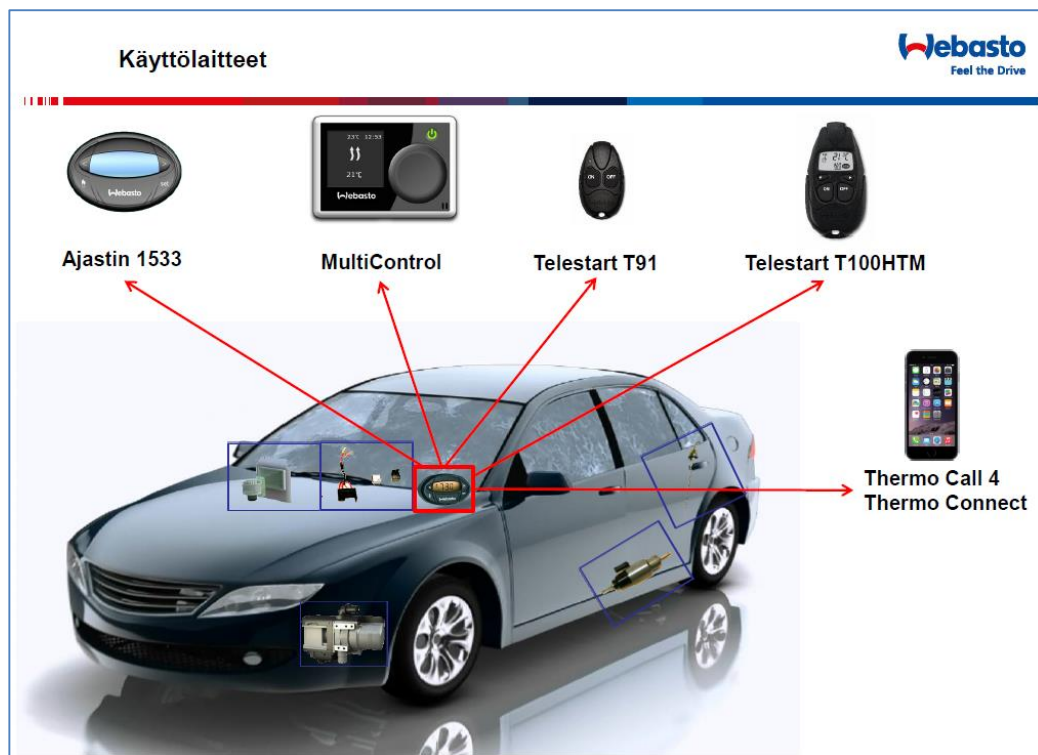
KUVIO 36. Air Top Evo 40/55 älykäs lämmitystehon säätö ja säätöikkuna (Kaha Ilmalämmitysjärjestelmä veneet 2017)

Kuvion 36 säätöikkunasta voidaan nähdä, että moottorin käyntinopeus on vihreän nuolen kohdalla aiempaa alhaisempi, mutta kyseisellä pyörintänopeudella saadaan kuitenkin aikaan yhtä suuri lämmitysteho kuin lineaarisella ominaiskäyrällä. Koska sähkömoottori pyörii hitaammin, lämmitin kuluttaa vähemmän sähköä. Lineaarisen käyrän yläpuolella olevalla alueella sisätiloihin saadaan siirrettyä suuremmalla sähkökulutuksella enemmän lämmintä ilmaa.

Koska Webaston vesilämmittimissä käytetään älykästä vesipumpun ohjausta ja vesi- sekä ilmalämmittimissä kyetään säätämään seosta ja tehoa portaattomasti maksimi- ja osatehon välillä, polttoaineesta vapautuva lämpöenergia saadaan erittäin hyvin siirrettyä väliaineeseen. (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018.)

4.3 Käyttölaitteet ja annostelupumppu

Webaston lämmittimien asennuksessa tarvitaan asennusperusteiden mukaisesti aina lämmitintä ohjaava käyttölaite. Henkilöautokäytössä vesilämmittimille on tarjolla useita käyttölaitteita kuvion 37 mukaisesti.



KUVIO 37. Webasto-käyttölaitteita henkilöautokäyttöön (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018)

Käyttölaitteissa on usein ajastustoiminto, jolla ajoneuvo saadaan lämpimäksi haluttuun aikaan. Erilaiset kauko-ohjaukset ovat myös suosittuja, uusimpana tuotteena on älypuhelinsovellusta ja mobiilidatayhteyttä hyödyntävä Thermo Connect. (Kaha Henkilöauto-lämmittimet jatkokurssi 2018)

Toisin kuin vesilämmittimissä, ilmalämmitinten käytetään usein pitkäkestoiseen ja tasaiseen lämmöntuottoon. Tämän vuoksi ilmalämmittimiin on perinteisesti omat, tähän käyttöön paremmin soveltuvat käyttölaitteensa. Useat kuvion 37 käyttölaitteista, kuten MultiControl ja Thermo Call toimivat kuitenkin myös ilmalämmitinten ohjaukseen. (Kaha Ilmalämmitysjärjestelmä veneet 2017).

Kaikissa Evo-sarjan lämmittimissä käytetään Webasto DP42-annostelupumppua niin bensiini- kuin dieselpolttoaineen syöttöön. Annostelupumppu on sähkötoiminen mäntäpumppu, joka imee polttoainetta tankista ja syöttää sen yksittäinen isku kerrallaan lämmittimelle. Pumppu toimii yhdistettynä polttoaineen syötön, mittauksen ja katkaisun mahdollistavana komponenttina. Evo-Lämmitin ohjaa annostelupumppua PWM-signaalilla. (Kaha Ilmalämmitysjärjestelmä veneet 2017). DP42-annostelupumppu on esitetty kuviossa 38.

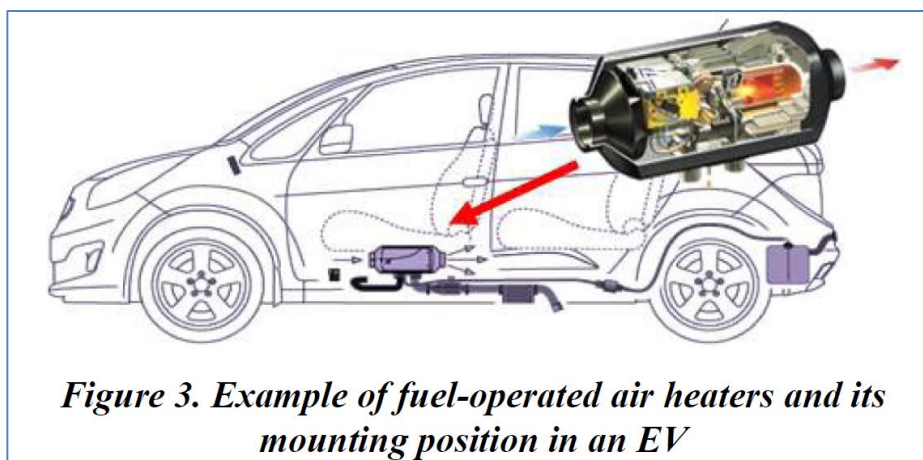


KUVIO 38. Webasto DP42-annostelupumppu (Kaha Ilmalämmitysjärjestelmä veneet 2017)

4.4 Polttoainekäyttöiset lämmittimet sähköautoissa

Webaston kilpailija Eberspächer on tutkinut polttoainekäyttöisen lämmittimen käyttöön liittyviä seikkoja sähkö- ja hybridautoissa. SAE Technical Paper -artikkelissaan tutkijat

Apfelbeck ja Barthel vertaavat kirjoitushetkellä vuonna 2013 valloilla olleita sähköautojen sisätilojen lämmitykseen liittyviä trendejä. Monet artikkelissa läpikäydyistä järjestelmistä ovat edelleen laajasti käytössä uusissa sähköautoissa, paitsi että lämpöpumppujärjestelmät ovat yleistyneet luvun 8 mukaisesti merkittävästi. Perustieto ja järjestelmien toimintaperiaate on kuitenkin pysynyt samana. Artikkelin pääpaino on PTC-lämmityksen ja polttoainekäyttöisen vesilämmittimen yhdistämisessä. Molemmat mahdolliset lämmintenvaihtoehdot, eli ilmalämmitin ja vesilämmitin on kuitenkin arvioitu. (Apfelbeck & Barthel 2013.) Ilmalämmittimen asennusesimerkki on esitetty kuviossa 39.



KUVIO 39. Ilmalämmittimen asennusesimerkki (Apfelbeck & Barthel 2013)

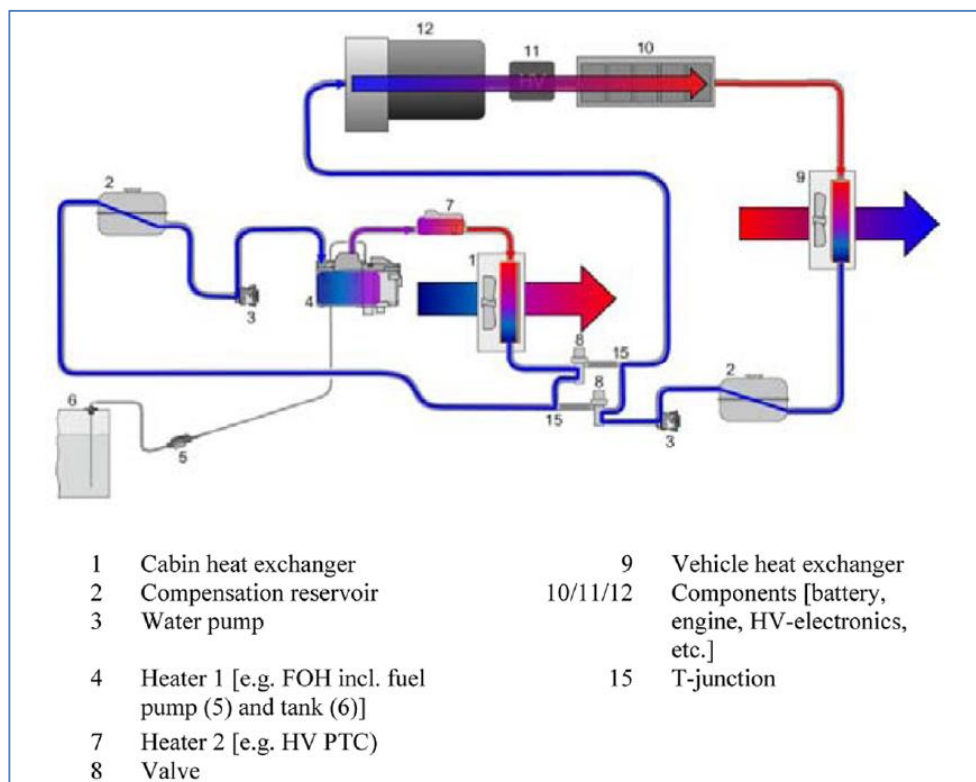
Apfelbeckin ja Barthelin (2013) mukaan ilmalämmittimen etuja ovat lämmittimen kompakti koko ja mahdollisuus käyttää tavanomaisia asennustarvikkeita. Jos sähköautoon integroitaisiin ilmalämmitin, sen asennuksessa olisi otettava huomioon, että puhalluslämpötila $80\text{ °C} \dots 120\text{ °C}$ voi olla liian korkea joillekin sisustan osille. Jos ilmalämmittimen virtaus johdettaisiin esimerkiksi auton omalla ilmaputkistolla suoraan tuulilasille, suuri lämpötilaero saattaisi aiheuttaa talvipakkasilla halkeaman lasiin. Kaikkia auton muoviosia ei myöskään ole välttämättä mitoitettu näin korkeille lämpötiloille. Lämmitin onkin osittain siksi asetettu kuviossa 39 puhaltamaan taaksepäin. Pääsyy lämmittimen suuntaukseen on kuitenkin se, että tutkijoiden mielestä ilmalämmittimien paras käyttötapa olisi käyttää niitä vain isojen autojen takatilojen ajonaikaisena lisälämmittimenä, eikä ensisijaisena lämmittimenä. Tämän käyttötavan mukaisia autoja olisivat siis lähinnä perheautot ja pikkubussit. (Apfelbeck & Barthel 2013).

Kahan näkemyksen mukaan ilmalämmitintä voitaisiin käyttää hyvin myös pienempien autojen ensisijaisena lämmittimenä, koska esimerkiksi Air Top Evo 55-lämmitin tuottaa

lämmitystehoa aina 5,5 kW asti. Lisäksi raitisilmakierron käyttäminen olisi sisäkiertoa parempi tapa kosteuden poistamiseksi. (Puolitaival 2018). Lämmittimen integrointiin on kuitenkin kiinnitettävä huomiota luvun 7 mukaisesti.

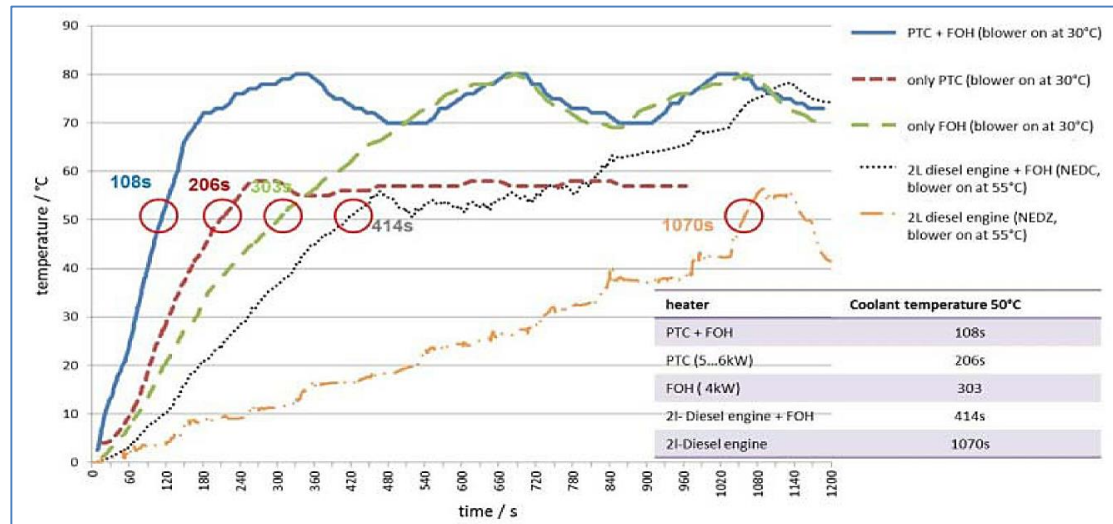
Vesilämmittimen käyttäminen on Apfelbeckin ja Barthelin (2013), sekä Kahan (Puolitaival 2018) mielestä ilmalämmitintä parempi tapa sähköautojen lisälämmitykseen. Tämä vaatii tietenkin sähköautolta nestekiertoisen sisätilojen lämmityspiirin, johon vesilämmitin voitaisiin integroida. Jos vesikiertoa ei ole, on ainoa mahdollisuus ilmalämmitin, koska uuden vesikierron jälkiasentaminen lämmitystä varten ei olisi lainkaan kannattavaa taloudellisesti.

Vesilämmitin mahdollistaa Apfelbeckin ja Barthelin (2013) mukaan myös akuston ja sisätilojen esilämmityksen, joka voisi tuoda lisäystä auton ajosäteeseen. Akuston lämmittäminen tulisi kuitenkin tehdä luotettavasti, ja lämmittämistä tulisi ohjata venttiileillä, jottei ylikuumentumista tapahdu (Apfelbeck & Barthel 2013). Esimerkki jäähdytysnestekierrosta, johon on integroitu polttoainekäyttöinen vesilämmitin (FOH) on esitetty kuviossa 40.



KUVIO 40. Esimerkki polttoainekäyttöisen lämmittimen (FOH) integroinnista sisätilojen lämmityksen ja akuston nestekiertoon (Apfelbeck & Barthel 2013)

Jos vesilämmitintä käytettäisiin yhdessä sähköisen lämmityksen kanssa, sisätilojen lämmitys olisi todella tehokasta (Apfelbeck & Barthel 2013). Eri lämmitystapojen vaikutus jäähdytysnesteen lämpötilaan on esitelty kuviossa 41. Kuviossa on vertailtu sähköauton sisätilojen lämmityksen nestekierron lämpenemistä tavanomaisen dieselauton jäähdytysnesteen lämpenemiseen ajossa, niin polttoainekäyttöisellä lisälämmittimellä kuin ilman sitä.



KUVIO 41. Eri ajoneuvon lämmitystapojen vertailu ajossa (Apfelbeck & Barthel 2013)

Kuvion 41 merkityistä ympyröistä nähdään, että sähköauto lämpenee ajossa dieselautoa nopeammin. Tavanomaisen dieselauton jäähdytysnesteen lämpeneminen ajossa 50 °C lämpötilaan kestää todella pitkään, yli 17 minuuttia. Nesteen lämmittäminen FOH-lämmittimen kanssa parantaa tilannetta, mutta neste lämpenee silti yli 100 sekuntia hitaammin verrattuna sähköauton lämmittämiseen pelkällä FOH-lämmittimellä. Tämä johtuu siitä, että sähköauton sisätilojen lämmityksen nestekierron tilavuus on luonnollisesti paljon pienempi kuin dieselauton koko nestekierron tilavuus. Lisäksi paljon lämpöä sitovaa polttomoottoria ei tarvitse lämmittää, jolloin jäähdytysneste lämpenee nopeammin. (Apfelbeck & Barthel 2013).

Kun sähköauton jäähdytysnestettä lämmitetään 5 ... 6 kW tehoisen PTC-vastuksen lisäksi noin 4 kW tehoisella FOH-lämmittimellä, jäähdytysneste on noussut alle kahdessa minuutissa 0 asteesta 50 asteiseksi. Pelkällä PTC-vastuksella lämmittäminen on sähköau-

tossa noin 100 sekuntia nopeampi tapa saada jäähdytysneste 50 °C lämpötilaan, kuin pelkällä vesilämmittimellä lämmittäminen. Tämä johtuu etanolivesilämmittimen käynnistysyhtiin kuluva ajasta. (Apfelbeck & Barthel 2013.)

Kuviosta 41 voidaan myös huomata, että polttoainekäyttöinen lämmitin kuumentaa jäähdytysnesteen lopulta kuumemmaksi, kuin mitä pelkkä PTC-lämmitin. Nesteen lämpötila vaihtelee etanolilämmitintä käytettäessä 80 °C ja 70 °C välillä, koska edellisen sukupolven lämmittimet vaihtavat toimintotapaansa portaittain osa- ja maksimitehon väliltä. (Apfelbeck & Barthel 2013). Myös Webaston valmistamat lämmittimet toimivat ennen vastaavalla tavalla. Nykyiset Evo-sarjan vesi- ja ilmalämmittimet pystyvät kuitenkin säätämään tehoaan portaattomasti, jotta lämmitetty neste tai ilma pysyisi tasaisesti halutussa lämpötilassa. (Puolitaival 2018.)

5 SÄHKÖAUTON PÄÄSTÖT LISÄLÄMMITTÄESSÄ

Sähköautoihin liitetään yleisesti niiden markkinoinnissa ympäristöystävällisyys. Ajatuksena on, että kun auton liikuttamiseksi ei polteta mitään, sähköauto ei tuota ajaessaan lainkaan päästöjä. Tämä ei pidä täysin paikkaansa, sillä esimerkiksi autojen renkaiden on todettu tuottavan pienhiukkaspäästöjä (Ziemann 2017). Sähköauto mielletään silti lähes aina paikallisesti nollapäästöiseksi. Jos sähköautoon asennetaan polttoainekäyttöinen lisälämmitin, sen päästöt eivät ole enää paikallisesti ”nolla”. Tämä voi aiheuttaa joillekin kuluttajille ensireaktion sen, ettei lisälämmittimen asentaminen olisi lainkaan hyväksyttävää, ja että sähköauto saastuttaisi lämmitinasennuksen jälkeen samalla tavalla kuin polttomoottoriautot. Lisälämmittimen aiheuttamien päästöjen arvioiminen on hyödyllistä tietoisuuden lisäämiseksi.

Sähköntuotannon elinkaari tulisi kuitenkin ottaa isommassa kuvassa huomioon, kun arvioidaan sähköauton kokonaispäästöjä ja etenkin hiilidioksidipäästöjä kuljettua kilometriä kohden. Tosin niin sähköauton kuin polttomoottoriautojenkin tapauksessa käytöstä aiheutuvien päästöjen laskelmia voidaan yleensä pyöritellä mieleiseksi. Käytäntö koskee niin sähkö- kuin öljyalaakin. (Linja-aho 2018). Esimerkiksi Hohterin (2018) mukaan ICCT on tehnyt hiljattain tutkimuksen, jonka mukaan sähköauto on tietyn kilometrimäärän jälkeen ekoteko, kunhan sähkö on tuotettu ympäristöystävällisesti. Suomessa Öljy- ja biopolttoaineala ry on huomauttanut, että uusiutuvaa dieseliä polttoaineenaan käyttävä auto on sähköautoa vähäpäästöisempi. (Hohteri 2018).

Lisälämmittimen tiedetään tuottavan lämpöä hyvällä hyötysuhteella (Ketonen 2010). Valmistajat eivät kuitenkaan usein ilmoita lämmitinensä hyötysuhdetta lainkaan. Lämmittimien hyötysuhteen arviointi päästöjen ohella on siksi järkevää, että lisälämmittimen käytölle löydettäisiin energiatehokkuuden kannalta järkeviä perusteita.

Lämmitimissä voitaisiin käyttää polttoaineena esimerkiksi ympäristöystävälliseksi koettua bioetanolia. Eri polttoaineiden ominaisuuksia kannattaa verrata keskenään ja lämmittimien toimintaan, jotta voitaisiin arvioida ympäristön kannalta puhtainta vaihtoehtoa.

5.1 Päästökomponentit

Koska polttomoottorit ovat kehittyneet suosituimmaksi autojen voimanlähteeksi, päästöjen syntyä perinteisten autojen moottoreissa on tutkittu jo pitkään. Ideaalisessa liikennepolttoaineiden palamisessa hiilivedyistä koostuva polttoaine tuottaisi palaessaan ainoastaan hiilidioksidia ja vesihöyryä. Lisäksi ilmassa oleva typpi kulkeutuisi palotilan läpi. Teoriassa pakoputken päästä tulisi siis ainoastaan hiilidioksidia (CO_2), typpeä (N) ja vesihöyryä (H_2O). (van Basshuysen & Schäfer 2004, 438–439). Oikeissa liikennepolttoaineiden palamistapahtumissa muodostuu kuitenkin aina myös saastepäästöjä, joita ovat hiilimonoksidi eli häkä (CO), palamattomat hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), sekä hiukkaspäästöt (PM). (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018).

Termi ”typen oksidit” (NO_x) on yleisnimitys kaikille typen ja hapen kaasumaisille yhdisteille. Käytännössä merkittävimmät saasteina pidettävät typen oksidit ovat typpimonoksidi (NO) ja typpidioksidi (NO_2). Niitä syntyy polttoaineiden palamisen yhteydessä korkeassa lämpötilassa, kuten esimerkiksi laihaseosmoottoreiden sylintereissä. (E Instruments LLC n.d.).

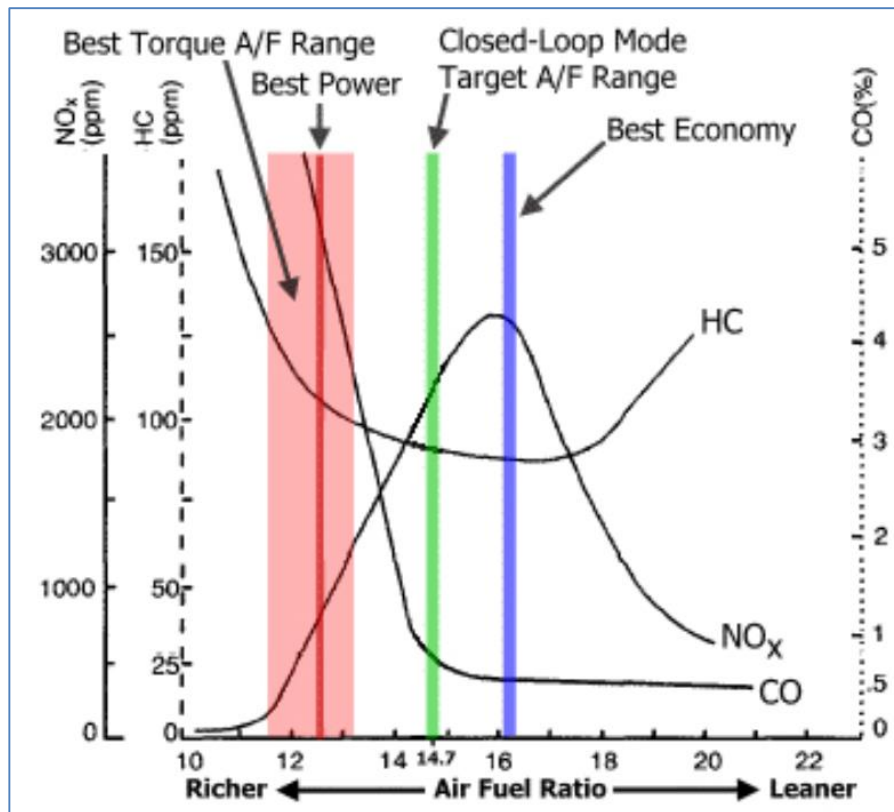
5.2 Palamistapahtuma polttomoottoreissa ja lisälämmittimissä

Päästöjen vähentäminen on ollut viime vuosikymmenet yksi tärkeimmistä polttomoottoreiden ja polttoaineiden kehitystä ohjaavista tekijöistä (Autoalan tiedotuskeskus n.d.). Jos sähköautoon integroidaan lisälämmitin, sen ajonaikaiset paikalliset päästöt muuttuvat siis nolosta ylöspäin. Palaminen lisälämmittimessä on kuitenkin erilaista, kuin palamistapahtuma polttomoottoreissa. Koska kyseessä on jatkuva palaminen, ei räjähdysenomainen hetkellinen tapahtuma, koko prosessi on huomattavasti kontrolloidumpi kuin mäntämoottoreissa. (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018).

Teoreettisesti bensiinin täydelliseen palamiseen vaadittu polttoaineen ja ilman massan suhde tulisi olla 14,7 kg ilmaa yhtä bensiinikiloa kohti. Suhdetta kuvataan ilmakertoimella, eli λ -kertoimella. Kun ilman ja bensiinin seossuhde on täydellinen 14,7 kg : 1 kg, ilmakerroin on yksi ($\lambda = 1,00$). Polttoaineen ja ilman suhde on tällöin stoikiometrinen, eikä palamistapahtumasta jää ylimääräisiä komponentteja jäljelle. (Bosch 2014, 614).

Kun ilmaa on stoikiometristä seossuhdetta suurempi määrä, palamisen sanotaan tapahtuvan ilmaylimäärällä. Ilmaa kulutetaan siis palamiseen enemmän kuin 14,7 kg : 1 kg ja ilmakerroinkin on tällöin suurempaa kuin yksi ($\lambda > 1,00$). Polttoaineen ja ilman seosta kutsutaan ilmaylimäärällä laihaksi. Vastaavasti jos ilmaa on stoikiometristä suhdetta vähemmän (alle 14,7 kg : 1 kg), seosta kutsutaan rikkaaksi. (Bosch 2014, 614–615; Endtuning.com n.d.). Teoreettisesti täydellinen seossuhde riippuu polttoaineen ominaisuuksista, ja esimerkiksi dieselöljylle stoikiometrinen seossuhde on hieman eri kuin bensinille, noin 14,6 kg : 1 kg (Endtuning.com n.d.).

Polttoaineen seossuhteen muuttamisen vaikutukset polttomoottorin toimintaan on tiedetty jo pitkään. Perinteisissä ottomoottoreissa suurin teho saadaan aavistuksen rikkaalla seoksella, ($\lambda \approx 0,85 \dots 0,95$), kun taas paras polttoainetaloudellisuus saavutetaan laihalla seoksella ($\lambda \approx 1,2 \dots 1,5$). Hiilipohjaiset pakokaasupäästöt ovat kuitenkin alhaisimmillaan stoikiometrisellä seoksella, siksi perinteisissä kipinäsytytysmoottoreissa polttoaineen seossuhde pyritään pitämään lähellä sitä. HC- ja CO-päästöt ovat siis matalimmillaan, kun $\lambda \approx 1$, mutta pakokaasujen lämpötila on tällöin korkea. Tämä aiheuttaa NO_x -päästöissä huomattavaa kasvua. (Bosch 2014, 614–615; Endtuning.com n.d.). Esimerkki päästöjen syntymisestä ja polttomoottorin suorituskyvystä eri ilmakertoimilla on esitelty kuviossa 42.



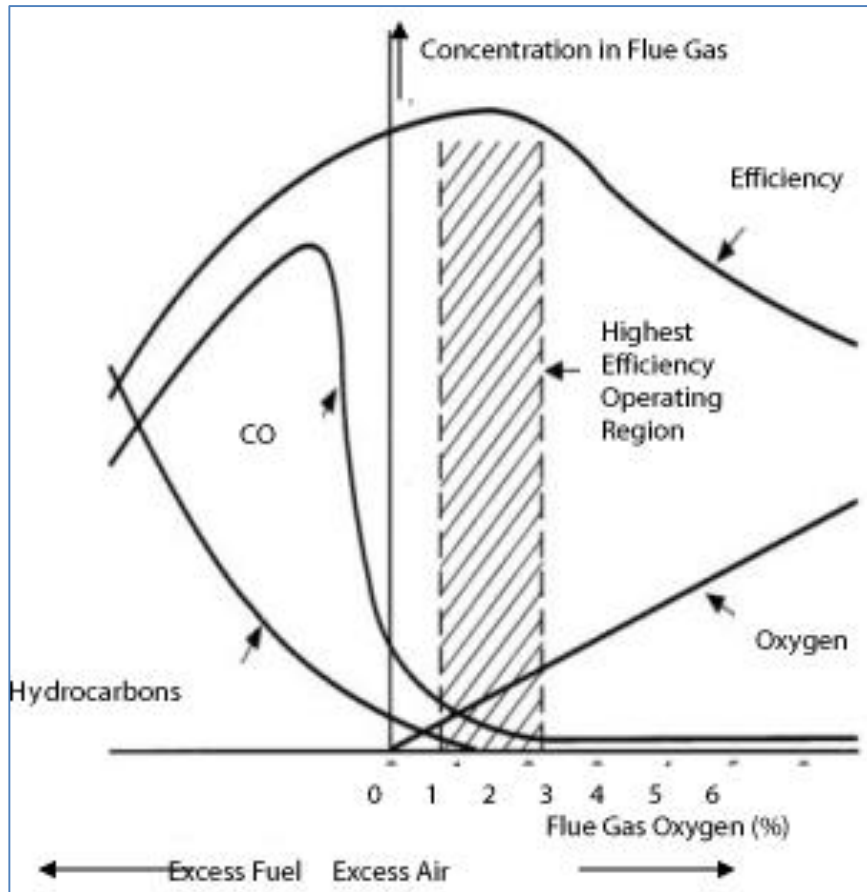
KUVIO 42. Ilmakertoimen vaikutus bensiinimoottorin pakokaasupäästöihin (Endtuning.com n.d.)

Kuviosta 42 on huomattava, että HC-päästöjen kasvaminen ilmaylimäärän 18 kg : 1 kg ($\lambda \approx 1,2$) jälkeen johtuu oletetuista laiha seoksen tuomista ongelmista: perinteisissä kipinäsytytysmoottoreissa liian laiha seos moottorin sylintereissä aiheuttaa sytytyskatkoksia. Palamatonta polttoainetta päätyy siis pakokaasujen joukkoon, mikä nostaa HC-päästöjä. Katkoksista seuraa myös sylinterin lämpötilan laskeminen, mikä alentaa NO_x -päästöjä. (Bosch 2014, 615; Endtuning.com n.d.). Mikäli moottori kykenisi polttamaan kaiken polttoaineen äärimmäisen laiha seoksella, vaikuttaisi se HC-päästöihin edelleen laskevasti, mutta NO_x -päästöt kasvaisivat lämpötilan nousun myötä entisestään.

Polttoainekäyttöiset lämmittimet toimivat perinteisistä kipinäsytytysmoottoreista poiketen ilmaylimäärällä, oli polttoaineena sitten bensiini tai diesel. Tämä takaa sen, että hapettuminen on tehokkaampaa, jolloin vähennetään CO-, HC- ja hiukkaspäästöjä. (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018).

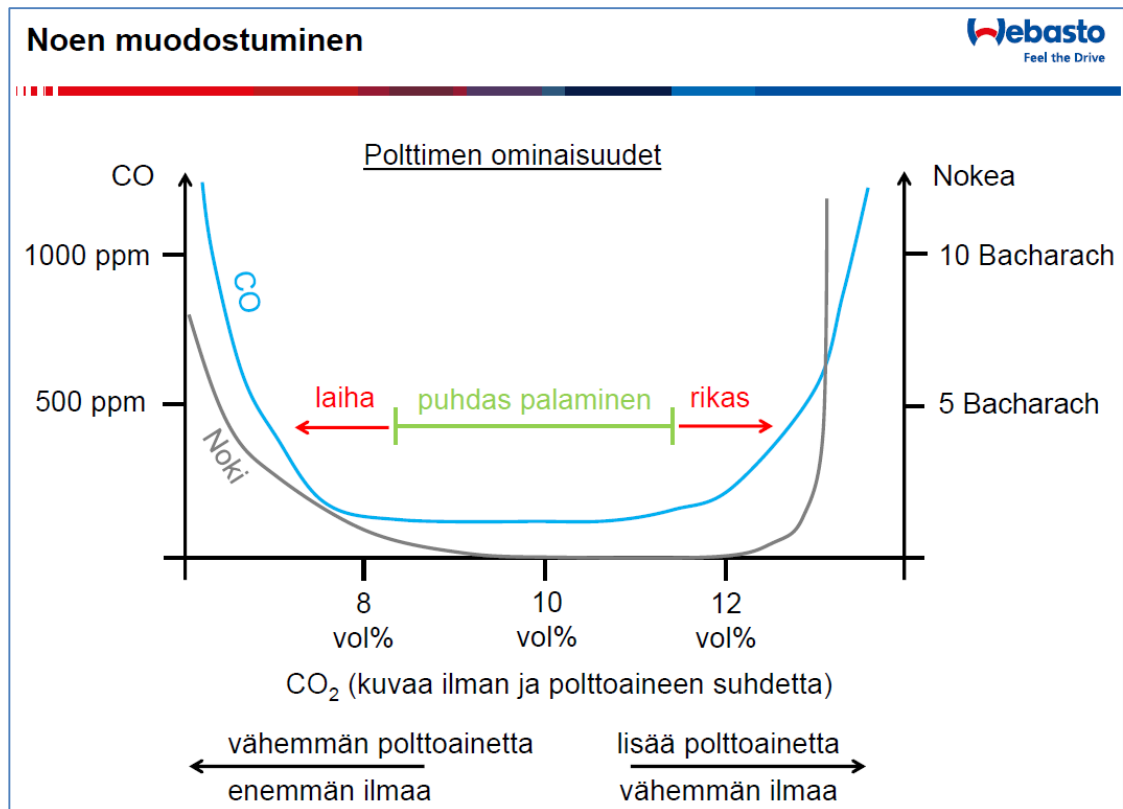
Ilmaylimäärä pyritään optimoimaan kaikissa polttotapahtumissa. Vaikka CO- ja HC-päästöt laskevat kun ilmaa lisätään, ilmaylimäärän rajaton kasvattaminen ei ole kannatta-

vaa. Teollisuuden polttovoimaloissa ja kotitalouksien lämmitinpolttimissa liian suuri ilmaylimäärä saa aikaan hyötysuhteen laskemisen kuvion 43 mukaisesti (Combustion Training n.d.)

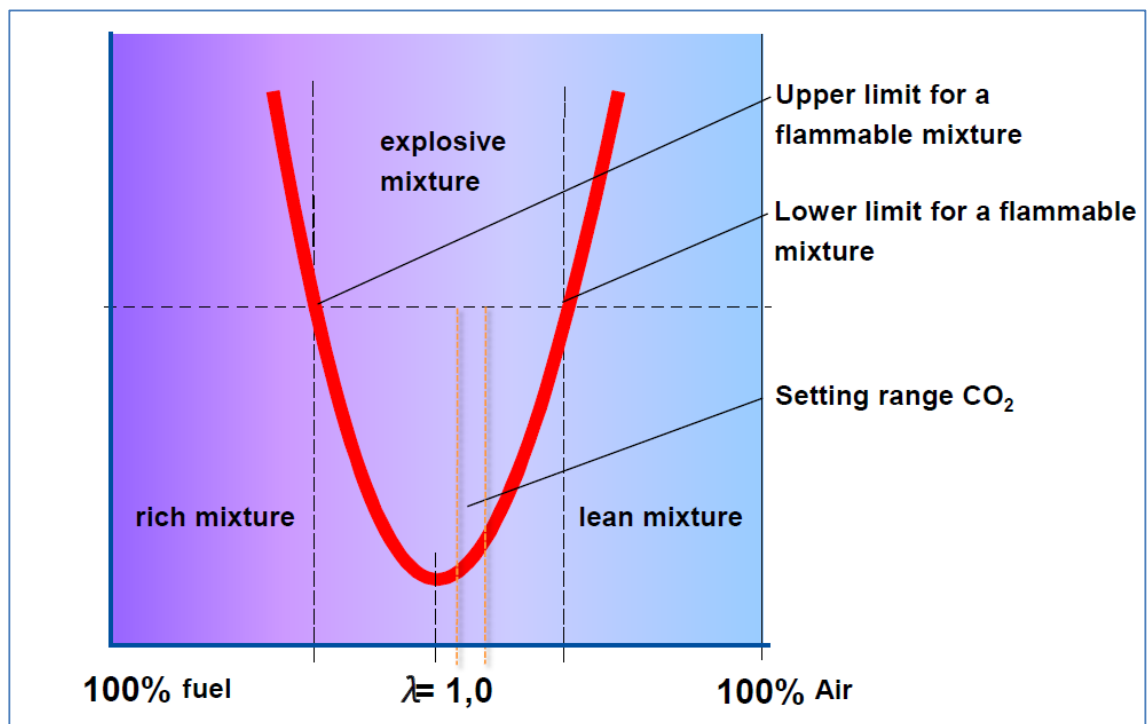


KUVIO 43. Ilmaylimäärän vaikutus teollisen polttoprosessin CO- ja HC-päästöihin sekä hyötysuhteeseen (Combustion Training n.d.)

Koska polttoainekäyttöisten lämmittimien paloprosessi on teollisuuden paloprosessien kaltainen, myös Webasto-lämmittimille on määriteltävissä suurimman hyötysuhteen alue ilmaylimäärällä. Lämmitin toimii yleensä puhtaimmin, kun pakokaasujen CO₂-pitoisuus on noin 10,0 % tilavuudesta täydellä teholla poltettaessa. Häkä- ja nokipäästöt ovat näillä säädöillä pienimmillään kuvion 44 mukaisesti. Myös polttoaineen syttymisherkkyys on tällä säädöllä sopiva kuviossa 45 esitellyllä tavalla. (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018).



KUVIO 44. Noen ja CO-päästöjen muodostuminen Webasto-vesilämmittimissä pakokaasujen CO₂-pitoisuuden funktiona (Kaha Henkilöautolämmittimet jatkokurssi 2018)



KUVIO 45. Polttoaineen syttymisherkkyys ilmakertoimen funktiona (Kaha Henkilöautolämmittimet 2018)

5.3 Saastepäästöjen muodostuminen lämmitinissä

Lisälämmittimien tuottamat päästöt koostuvat pääasiassa hiilidioksidista. Tasaisen käytön aikana lisälämmittinissä ei synny juuri haitallisia CO- ja HC-saastepäästöjä. Lämmitin tuottaa kuitenkin toimiessaan typen oksideja, joita voidaan pitää ainoana ongelmallisena lisälämmittimen palamisprosessin päästöistä. Lisäksi käynnistys- ja sammumisvaiheisiin liittyy CO- ja HC-päästöjä muodostavia prosesseja. (Mikláne & Gotfrýd 2014, 27.)

Korkeat typen oksidipäästöt ovat olleet perinteisesti ja ovat myös nykyään dieselmootto- reiden ongelma, kuten paljon julkisuudessa vuodesta 2015 asti käsitelty Volkswagen AG:n päästöskandaali osoittaa. Päästöhuujauksesta on tehty Suomessakin tutkimusta esimerkiksi Peltovirran (2016) toimesta.

Perimmäinen syy dieselmoottorin NO_x-päästöihin on korkea lämpötila: ilmaylimäärä saa aikaan korkean palamislämpötilan, joka yhdessä korkean paineen ja polttoaineen ominaisuuksien kanssa saa aikaan bensiinimoottoria suuremmat NO_x-päästöt (Omnagen 2017). Dieselkäyttöiset polttoainelämmittimet tuottavat myös typen oksideja ilmaylimäärän ja korkean lämpötilan vuoksi, mutta suhteessa dieselmoottoareita vähemmän. Tämä johtuu siitä, että lämmitin polttimessa ei ole vastaavaa useamman MPa:n suuruista painetta, kuten dieselmoottorin sylintereissä puristus- ja työtahtien aikana. (Puolitaival 2018.)

Ilmeisesti CO- ja HC-päästöjen vähydestä johtuen Webaston lisälämmittimissä ei ole pakokaasujen jälkikäsitelyjärjestelmiä, kuten katalyyttistä jälkikäsitelyä. Lisälämmittimissä ei ole myöskään palamisen NO_x-päästöjä vähentäviä laitteita, kuten EGR-järjestelmää, niin kuin polttomoottoriautoissa on totuttu. Hyödyt mitä näistä järjestelmistä saataisiin, eivät ole investointien arvoisia. Muita saasteiksi luokiteltavia päästöjä, eli hiilimonoksidi-, hiilivety- ja pienhiukkaspäästöjä ei juuri synny dieselin palaessa ilmaylimäärällä lisälämmitinkäytössä. Bensiinilämmittimien päästöt ovat samantyyppiset kuin diesellämmittimien. (Puolitaival 2018). Lisälämmittimien päästöistä ei löytynyt muuta tutkimusta, kuin Miklánekin ja Gotfrýdin (2014) tutkimus. Myös aiemmin mainittu Apfelbeckin ja Barthelin artikkeli käsittelee etanolilämmittimen päästöjä.

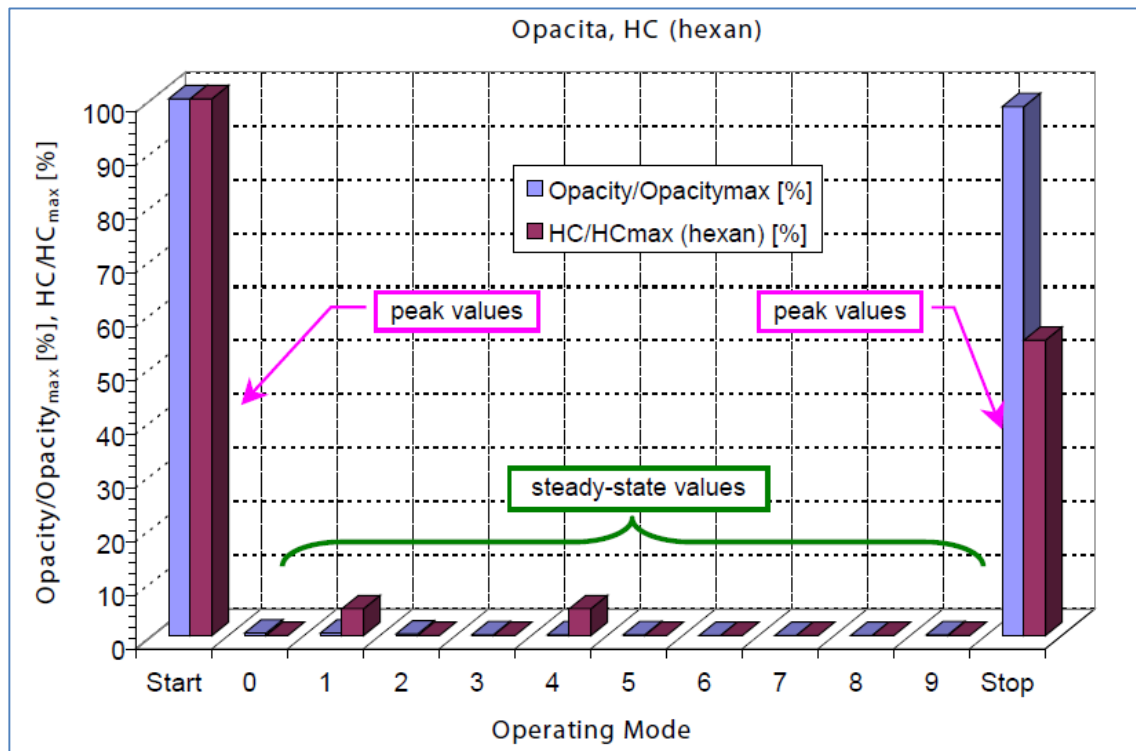
Miklánek ja Gotfrýd etsivät tutkimuksessaan (2014, 27) perimmäisiä syitä liekin syttymis- ja sammumisvaiheiden päästöille. Tutkijat myös mittasivat raskaan kaluston lisälämmittimen CO-, HC- ja NO-päästöjä, sekä sen savutusta. Lämmittimen tehoa oli mahdollista säätää kymmenellä eri tehoalueella, asteittain pienimmästä arvosta (0) täystehtoon (9). Lisäksi tutkijat mittasivat päästöt ja savutuksen myös käynnistys- ja sammutustilanteissa, jolloin eri mittaustilanteita oli yhteensä 12.

Tutkimuksessa ei mitattu typen oksidien päästöjä (NO_x), vain pelkästään typpimonoksidipäästöjä (NO), mikä voi herättää epäilyksen tulosten luotettavuudesta. E Instruments Internationalin (NO_x Analyzers n.d.) mukaan tämän kaltainen ”Simple NO_x ”-mittaus ei ole yhtä tarkka kuin typpimonoksidin ja typpidioksidin (NO_2) yhdistelmämittaus ”Total NO_x ”, tai vieläkin tarkempi ”True NO_x ”-mittaus. Typen oksideihin luetellaan typpimonoksidin lisäksi myös esimerkiksi typpidioksidi ja typpioksiduuli (N_2O). Tuloksia voidaan kuitenkin pitää melko luotettavina, sillä NO-mittauksella voidaan määrittää likimain pakokaasujen kokonaistypenoksidipäästöt. Tämä tehdään käyttämällä historialliseen mitausdataan ja polttoaineen ominaisuuksiin perustuvaa NO: NO_2 -suhdetta. Kertomalla mitattu NO-arvo kyseisen polttoaineen NO: NO_2 -suhteella, saadaan suuntaa-antava arvio koko prosessin NO_x -päästöistä. (NO_x Analyzers n.d.; Miklánek & Gotfrýd 2014, 27)

Lämmittimen liekin syttymis- ja sammumisvaiheiden CO- ja HC-päästöt ja mahdollinen savutus liittyvät polttoaineen höyrystymiseen. Syttymisvaiheessa kaikkea höyrystynyttä polttoainetta ei saada osallistumaan palamiseen, jolloin pieni osa polttoainehöyrystä kulkeutuu suoraan pakoputkeen, ja tästä savuna ympäristöön. Sammumisvaiheessa syntyvät päästöt liittyvät polttoaineen syötön katkaisuun, ja sitä kautta liekin sammumiseen. Kun liekki sammuu, höyrystimestä vapautuu kuitenkin vielä pieniä määriä höyrystynyttä polttoainetta, joka näkyy pakoputken kautta savuna. Polttoaineen ja lämmittimen ominaisuuksilla on suuri merkitys päästöjen ja savun muodostumiseen. Miklánekin ja Gotfrýdin työssä tutkittiin raskaan kaluston diesellämmitintä, joka käytti ”tavanomaista” dieselpolttoainetta. (2014, 27–29.)

Käynnistys- ja sammutustilanteissa päästöjen suuruus riippui suuresti ajasta, sillä esimerkiksi käynnistuksen yhteydessä valkoista savua raportoitiin muodostuvan noin 4-5 sekunnin ajan. Keskiarvoisten päästöjen määrittäminen käynnistys- ja sammutustilanteissa ei

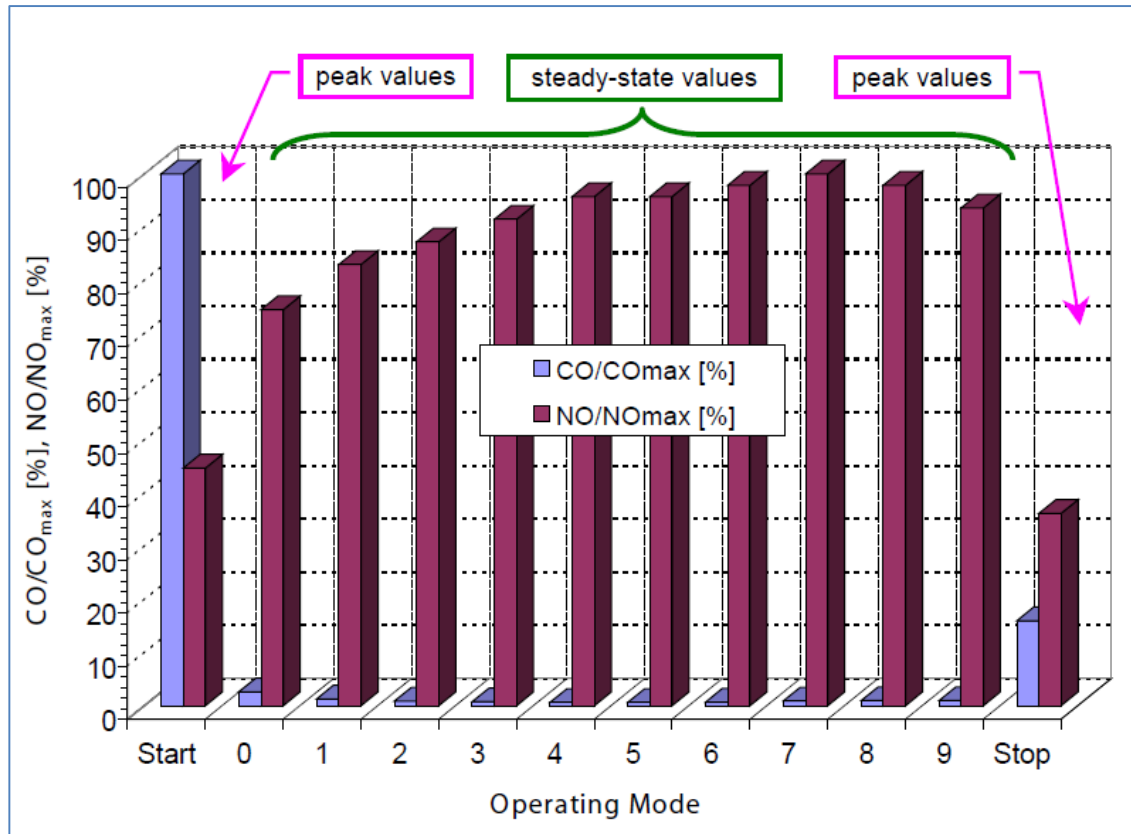
ollut tutkijoiden mukaan mielekästä, koska arvot vaihtelivat suuresti riippuen ajankohdasta. Lisäksi käynnistystilanteessa on vaikea määrittää, milloin lämmitin tarkalleen ottaen on siirtynyt teholle 0. Sammutustilanteessa on vaikea taas määrittää, milloin sammutusvaihe alkaa. Lisäksi pakokaasujen datan lukemisessa oli pieni viive. Tämän vuoksi käynnistys- ja sammutustilanteista ilmoitettiin ainoastaan huippuarvot. Tehomittauksissa päästöarvoiksi ei otettu huippuarvoja, vaan tutkijat mittasivat jatkuvasti pakoputkesta tulevien päästöjen liukuvan keskiarvon päästöarvot. Tutkijat eivät saaneet lämmitinvalmistajan vaatimuksesta ilmoittaa tarkkoja mitattuja arvoja, joten tuloksina on esitelty suurimpiin arvoihin verratut, normalisoidut arvot. HC- ja savutusmittauksen tulokset ovat kuvion 46 mukaiset.



KUVIO 46. Normalisoidut mittaustulokset HC-päästöille ja savutukselle kaikilla mittausalueilla (Miklánek & Gotfrýd 2014, 27)

Normalisointi aiheuttaa sen, että päästöjen suuruusluokasta ei pysty päättelemään juuri mitään. Lisäksi on huomattava, että vaikka käynnistysvaiheessa savutus ja HC-päästöjen diagrammit ovat yhtä korkeat, ei se tarkoita sitä, että näiden päästöjen absoluuttiset mittaustulokset olisivat tilavuusprosentteina yhtä suuret. Kuvioista 46 voidaan kuitenkin havaita se aiemmin mainittu seikka, että melkein kaikki lämmittimien hiilivetypäästöt ja savutus tapahtuvat käynnistymisen ja sammuttamisen yhteydessä. Sammuttamisessa näyttäisi

syntyvän huippuarvoltaan noin puolet käynnistystilanteen HC-päästöistä. Palamisen yhteydessä ei näyttäisi syntyvän juuri lainkaan HC-päästöjä ja savua tehoalueesta riippumatta. Häkä- ja typpimonoksidipäästöt on esitetty vastaavalla tavalla kuviossa 47.



KUVIO 47. Normalisoidut mittaustulokset CO- ja NO-päästöille kaikilla mittausalueilla (Miklánek & Gotfrýd 2014, 27).

Kuviosta 47 voidaan tehdä vastaavia havaintoja kuin kuviosta 46. Häkäpäästöjä ei juuri synny muuten kuin käynnistuksen ja sammutuksen yhteydessä. Häkäpäästöjen huippuarvo on sammutuksen yhteydessä vain hieman yli 10 % siitä, mitä huippuarvo on käynnistystilanteessa. Typpimonoksidipäästöjä taas syntyy kaikissa tilanteissa, mutta etenkin palamisen aikana. NO-päästöt kasvavat tasaisesti 0-tehosta ylöspäin, ja ne ovat suurimmillaan teholla 7. Suurempi teho tarkoittaa ilmeisestikin suurempaa polttoaineen kulutusta, jolloin NO-päästötkin kasvavat. Tehoa 7 suuremmilla tehoalueilla 8 ja 9 NO-päästöt tosin pienenevät hieman.

Miklánek ja Gotfrýd (2014, 27) eivät ole tarkemmin eritelleet syytä sille, että miksi teholla 7 syntyy enemmän typpimonoksidia kuin suuremmilla tehoilla. Tutkijat toteavat, että NO-päästöjen syntymiselle on optimaalisimmat olosuhteet teholla 7. Suurempia

päästöjä voi selittää se, että lämmittimen eri tehot vaikuttavat polttoaineen määrän lisäksi myös todennäköisesti paloilmapuhaltimen pyörimisnopeuteen. Tällöin palamistapahtuman ilmakerroin ja lämpötila saattavat vaihdella, ja teholla 7 NO-päästöt ovat suurimmillaan. Pelkän NO-arvon mittauksen epätarkkuus on myös syytä ottaa huomioon NO_x-päästöjä arvioitaessa.

5.4 CO₂-päästöt ja hyötysuhde: polttoaineiden ominaisuuksien huomioiminen

Liikennepolttoaineiden palamisen autojen moottoreissa suurimpina ongelmina pidetään saastepäästöjen lisäksi hiilidioksidipäästöjä, koska hiilidioksidin katsotaan olevan merkittävin ihmisen toiminnallaan aiheuttama kasvihuonekaasu (EPA n.d.). Lisäksi, koska lämmittimet tuottavat lähes ainoastaan hiilidioksidia, on loogista keskittyä lämmittimien tuottamiin CO₂-päästöihin tarkemmin.

Hiilidioksidin määrä riippuu suuresti polttoaineen rakenteesta. Kaikilla liikennepolttoaineiden pääkomponentteina toimivat hiilivetyketjut. Dieselin ja bensiinin ominaisuudet ovat erilaiset niin molekyyllitasolla, kuin muutenkin. Tavanomaisen dieselin molekyyli-rakenne on C₁₂H₂₃, vaihdellen arviolta C₁₀H₂₀- ja C₁₅H₂₈-ketjujen välillä. Yhdessä molekyyllissä on siis tavallisesti 12 hiiliatomia. Bensiinin hiilivetyketjut ovat lyhyemmät, vaihdellen arviolta viidestä hiiliatomista kahteentoista. Teoriassa hiilestä koostuvan polttoaineen palamisessa syntyy hiilidioksidia hiilen (C) yhtyessä happeen (O₂). Koska hiilidioksidin (CO₂) moolimassa on 44 g/mol ja hiilen (C-12-isotooppi) moolimassa on 12 g/mol, se voisi tarkoittaa sitä, että esimerkiksi dieselöljyn palaessa, hiili yhtyy happeen ja hiilidioksidia syntyy hiilen määrää vastaavalla kertoimella. (Diffen LLC n.d.) Kerroin voidaan nimetä vaikkapa kertoimeksi x , ja sen suuruus on hiilidioksidin ja poltettavan hiilen moolimassojen suhde yhtälön (2) mukaisesti:

$$x = \frac{M_{CO_2}}{M_C} = \frac{44 \text{ g/mol}}{12 \text{ g/mol}} = 3,6667 \quad (2)$$

Liikennepolttoaineiden palamisessa syntyvän hiilidioksidin määrää ei kuitenkaan voida laskea siten, että yhden polttoainekilon palamisessa syntyisi noin 3,66 kg hiilidioksidia. Tämä johtuu siitä, että polttoaineet eivät ole 100 % hiiltä, ja niiden joukossa on myös valmiiksi happea sisältäviä komponentteja. (Diffen LLC n.d.). Kun palavan polttoaineen

määrä, hiilipitoisuus ja energiasisältö ovat tiedossa, voidaan polttoaineelle laskea teoreettinen CO₂- ominaistuotanto.

Tilastokeskus ylläpitää ja määrittää vuosittain tilastoa eri polttoaineiden ominaisuuksista. Vuosittain julkaistavaa polttoaineluokitusta käytetään Suomessa kasvihuonekaasujen inventaarion laadinnassa, energiakyselyissä, päästökauppaan liittyvässä päästöjen tarkkailussa, sekä uusiutuvilla energialähteillä tuotetun, tuotantotukeen oikeuttavan sähkön seurannassa. Kyseisessä tilastossa on määritelty tyypillisiä polttoaineiden ominaisuuksia Suomessa, tärkeimpinä ehkäpä hiilidioksidin päästökertoimet ja polttoaineiden teholliset lämpöarvot. Tilastokeskuksen määrittämät arvot ovat keskimääräisiä arvoja Suomessa saatavilla olevista polttoaineista. Hiilidioksidin päästökerroin (CO₂-kerroin) kertoo palamistapahtumassa ympäristöön vapautuvan hiilidioksidin määrän polttoaineen tuottamaa energiaa kohti (Tilastokeskus 2018).

Päästökerroin on keskiarvo monista eri polttoaineista, ja yksittäinen päästökerroin on luultavasti määritelty valmistajan toimesta edellä esitetyllä tavalla, eli polttoaineen yksittäisten komponenttien pitoisuuksien ja teoreettisten päästöjen kautta. Lämpöarvon ja CO₂-kertoimen avulla pystytään määrittämään melko yksinkertaisesti polttoainelämmittimen tuottamat paikalliset CO₂-päästöt. Ote tilastokeskuksen vuoden 2018 polttoaineluokituksista on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Osa polttoaineluokitus 2018 -taulukosta (Tilastokeskus 2018, muokattu)

Tilastokeskus		POLTTOAINELUOKITUS 2018					09.02.2018
Koodi	Nimike	Polttoaine- kohtainen määrä- yksikkö	CO ₂ - oletus- päästö- kerroin	Oletus- hapetus- kerroin	Tehollinen (alempi) oletus- lämpöarvo käyttötilassa	Oletustiheys 4)	Huomi
			[t/TJ]		[GJ/yksikkö]	[t/m ³]	
112	Kevyet öljyt						
1121	Teollisuusbensini	t	72,7	1,0	44,3	0,70	
1122	Moottoribensini	t	68,6 *	1,0	41,7 *	0,75	Oletetaan sisältävän km. 8,4 % bio-osuuden tilavuudesta.
1123	Lentobensini	t	71,3	1,0	43,7	0,71	
113	Keskiraskaat öljyt						
1131	Lentopetroli	t	73,2	1,0	43,3	0,79	
1132	Muut petrolit	t	71,5	1,0	43,1	0,83	
1133	Dieselöljy	t	65,5 *	1,0	43,0	0,83	Oletetaan sisältävän km. 11 % bio-osuuden tilavuudesta.
1134	Kevyt polttoöljy, vähärikkinen	t	73,5	1,0	43,0	0,84	
1135	Kevyt polttoöljy, rikiton (ent. moottoripolttoöljy)	t	73,5	1,0	43,0	0,84	
1139	Muut keskiraskaat öljyt	t	74,1	1,0	42,7	0,85	
114	Raskaat öljyt						
1141	Raskas polttoöljy, rikkipitoisuus <1%	t	79,2	1,0	40,4	0,99	
1142	Raskas polttoöljy, rikkipitoisuus ≥1%	t	78,4	1,0	40,2	1,00	
1143	Muut raskaat öljyt	t	79,2	1,0	40,2	1,01	
1144	Raskas polttoöljy, rikkipitoisuus ≥0,1%	t	76,1	1,0	42,1	0,89	

5.4.1 Bio-osuuden, kesä-/ talvilaadun ja eri oktaanilukujen huomiointi

Taulukosta 6 voidaan huomata, että tilastokeskus ottaa huomioon lainsäätäjien vaatiman biopolttoaineiden osuuden Suomessa myytävissä moottoribensiinissä ja dieselöljyssä. Biopolttoaineiden osuudet ovat muuttaneet kyseisten polttoaineiden hiilidioksidin päästökertoimia viime vuoteen nähden, siksi nämä luvut on merkitty punaisella värillä ja tähdellä. Esimerkiksi dieselöljylle oletus CO₂-päästökerroin on laskenut vuoden 2017 arvosta 66,3 t/TJ arvoon 65,5 t/TJ, kun bio-osuus tilavuudesta on kasvanut 10 prosentista 11 prosenttiin. (Tilastokeskus 2017 & 2018).

Bio-osuus tuo liikenteen palamisen päästöjen laskentaan hieman hankaluutta, koska liikennekäytössä olevien biopolttoaineiden katsotaan direktiivin 2003/30/EY mukaisesti olevan laskennallisesti CO₂-nollapäästöisiä poltettaessa. Hiilidioksidin päästökerroin on siis alhaisempi, kuin mitä se olisi 100 % fossiilisella dieselöljyllä, koska ainoastaan fossiilisen polttoaineen osuuden oletetaan tuottavan hiilidioksidia palamistapahtumassa (Mäkelä & Auvinen 2011, 25). Tosin myöhemmin polttoaineluokituksessa esitetyille, muille kuin liikenteessä käytettäville biopolttoaineille on määritelty oletuspäästökertoimet, riippumatta kyseisen polttoaineen alkuperästä ja elinkaaresta. Nämä luvut ovat palamisessa syntyviä paikallisia CO₂-päästöjä, jotka liittyvät Suomen EU-tasolla harjoittamaan päästökauppaan. Biopolttoaineiden hiilidioksidipäästöjä ei lasketa Suomen kasvihuonekaasuinventaarioon, eikä niitä huomioida päästökaupassa (Polttoaineluokitus 2018). Päästökertoimet on kuitenkin määritelty näille teollisuuden biopolttoaineille, koska esimerkiksi energiantuotannossa jätettä polttamalla fossiiliset polttoaineet laskeaan mukaan Suomen kasvihuonekaasuinventaarioon, kun taas bioperäiset hiilidioksidipäästöt tulisi raportoida inventaarion yhteydessä lisätietona. (Saarinen 2008, 17).

Liikennepolttoaineiden tuottamia päästöjä käsitellään siis energiapoliittista syistä eri tavalla kuin teollisuuden polttoaineita. Päästökertoimen pienenemisen lisäksi myös polttoaineen tehollinen lämpöarvo muuttuu bensiinille vuoden 2018 polttoaineluokituksessa edellisvuotta pienemmäksi, koska bio-osaset (etanoli) eivät tuota palaessaan yhtä paljon lämpöenergiaa kuin pelkkä bensiini. Vuonna 2017 tehollinen lämpöarvo oli bensiinille 42,0 GJ/t (bio-osuus keskimäärin 6,6 %-til.) kun taas vuonna 2018 tehollinen lämpöarvo on taulukon 6 mukaisesti 41,7 GJ/t (bio-osuus 8,4 %-til) (Polttoaineluokitus 2017).

Uusiutuvan etanolin käytön myötä laskevat hiilidioksidipäästöt tuovat kuitenkin lainsäätäjien laskennoissa suuremman säästön päästöissä, kun verrataan bio-osuuden sisältävää bensiiniä vähemmän etanolia sisältävään bensiiniin. Pienemmät päästöt kompensoivat pienemmästä lämpöarvosta aiheutuvan suuremman polttoaineen kulutuksen (E10benssiini.fi n.d.). Polttoaineiden lämpöarvojen vertailu ei välttämättä kerro koko totuutta niiden päästöistä moottoreissa, koska alhaisemman lämpöarvon polttoaineella saattaa olla esimerkiksi suurempi palopaine, mikä vaikuttaa polttomoottorin suorituskykyyn. Teollisissa paloprosesseissa lämpöarvolla on kuitenkin suuri merkitys.

Oman osansa bensiinin laskentaan tuo lisäksi kaksi saatavilla olevaa eri oktaaniluvun polttoainetta, 95E10 ja 98E5. Vaikka oktaaniluku liittyykin ennemminkin bensiinin nakutuskestävyyteen, on se myös suorassa suhteessa bensiinin etanolipitoisuuden kanssa. Etanolin lämpöarvo on pienempi kuin hiilivetybenssiinin, joten etanolin lisääminen hiilivetybenssiiniin tarkoittaa energiasisällön pienenemistä. Suuremman etanolipitoisuuden 95E10 on energiasisällöltään noin 1,5 % pienempi kuin 98E5, mikä tarkoittaa ajoneuvo-käytössä hieman suurempaa kulutusta saman energian tuottamiseen. Lisäksi diesel- ja bensiinipolttoaineissa on omat kesä- ja talvilaatunsa, joiden ominaisuudet mm. tiheydessä ovat hieman erilaiset. (Neste Bensiiniopas 2015, 20–22)

5.4.2 Laskennan lähtöarvojen määrittäminen

Lämmittimien hyötysuhteiden ja päästöjen laskennassa on otettava huomioon polttoaineen päästökertoimet ja sen muut ominaisuudet. Laskennassa on monia muuttujia, jotka vaikuttavat tuloksiin täysin. Lähtöarvoissa on otettava huomioon, että yhden arvon määrittäminen saattaa muuttaa toista lähtöarvoa merkittävästikin. Päästöjen määrittäminen ja eri energialähteiden vertailu on haastavaa, jolloin elinkaaren kannalta kaikista puhtainta vaihtoehtoa voi olla vaikea löytää. Laskennan tärkeimmät tekijät ovat hiilidioksidin päästökerroin, polttoaineen lämpöarvo ja sen tiheys.

Polttoaineluokituksessa mainitut hiilidioksidin oletuspäästökertoimet ovat siis muuten paikallisia palamisen yhteydessä vapautuvia CO₂-päästöjä, paitsi että liikennepolttoaineissa oletuspäästökerroin koostuu ainoastaan fossiilisen polttoaineen osasta. Polttoai-

neen on oletettu sisältävän keskimäärin tietty prosenttiosuus tilavuudesta bio-osuutta lain-säättäjien asettamien vaatimusten mukaisesti. Jos polttoaine olisi täysin uusiutuvista raaka-aineista tehtyä biopolttoainetta, ei se teoriassa tällä laskentatavalla tuottaisi palaes-saan lainkaan hiilidioksidipäästöjä. Polttoaineen on oletettu sitoneen elinkaarensa aikana sama määrä hiilidioksidia, kuin mitä ympäristöön vapautuu sitä poltettaessa. Biopolttoai-neiden palamisessa tosin syntyy toki paikallisia CO₂-päästöjä.

Paikallisten hiilidioksidipäästöjen oletuspäästökerroin olisi johdettavissa määritetystä päästökertoimesta ja bio-osuuden prosenttiluvusta. Jos esimerkiksi nykyisen polttoaineen bio-osuus on 10 % ja fossiilisen polttoaineen osuus on 90 %, päästökerroin voitaisiin määrittää helposti 100 % fossiiliselle polttoaineelle. Tämä ei ole kuitenkaan kannattavaa, koska muut polttoaineen ominaisuuksiin liittyvät lähtöarvot saattaisivat olla täysin erilai-set, jos polttoaine olisikin 100 % fossiilista polttoainetta. Pelkän bio-osuuden paikallista päästökertoimta voitaisiin myös yrittää arvioida, ja lisätä tämän bio-osuuden palamisen päästöt fossiilisen osan päästöjen lisäksi. Ongelmana on se, että bio-osuuden kertoimen suuruutta ei itse asiassa tiedetä tarkasti.

Ajan käyttäminen päästöjen tarkkaan mallintamiseen ei ole mielekästä, eikä sen tekemi-nen ole työn tavoitteiden mukaista. Parempien lukujen puuttuessa tilastokeskuksen mää-rittämiä bensiinin ja dieselöljyn päästökertoimia kannattaa siis käyttää lisälämmittimen päästöjen ja hyötysuhteen laskentaan. Jos bio-osuutta ei huomioitaisi ja päästökertoimta kasvatettaisiin bio-osuuden prosenttiosuutta vastaavasti, tulisi myös muut tärkeät lähtö-arvot, eli tiheys ja tehollinen lämpöarvo määrittää uudestaan. Nämä arvot riippuvat täysin lähteestä ja lähteiden välillä esiintyy jonkin verran vaihtelua. Siksi tilastokeskuksen pääs-tökertoimella tuloksiksi saadaan ainakin keskimääräisiä lukuja, jotka perustuvat Suomen tieliikenteessä kokonaisuudessaan käytettävien polttoaineiden myyntimääriin ja ominai-suuksiin.

Webasto ilmoittaa esimerkiksi diesellämmittimiensä polttoaineen standardiksi EN 590, joka on jo useamman vuoden ajan ollut EU:n sisällä jakeluasemoilla myytävän liikenne-polttainedieselin standardi. Dieselkäyttöisten ilmalämmittimien ilmoitetaan lisäksi toi-mivan standardin EN 14214 biodieselillä. Bensiinilämmittimissä polttoaineen tulisi olla EN 228-standardin mukaista.

Laskennan kannalta olisi mielekästä käyttää tismalleen saman polttoaineen ilmoitettuja arvoja, kuin millä lämmitinvalmistaja on testannut ilmoitetut kulutus- ja teholumemat. Webasto kuitenkin ilmoittaa erityyppisille lämmittimille eri polttoainestandardeja, mutta ei ilmoita eri polttoaineiden vaikutusta kulutukseen muuten, kuin mainitsemalla 10 % vaihtelumahdollisuuden ilmoitetuissa kulutusarvoissa (kts. alaluvut 4.1 ja 4.2). Lisäksi jo yhden polttoainestandardin sisällä on paljon liikkumavaraa. Esimerkiksi dieselöljystandardi EN 590 voi sisältää laajan skaalan eri valmistajien polttoaineita, joiden ominaisuudet ovat standardin mukaiset, mutta joiden keskinäisissä ominaisuuksissa voi olla merkittäviäkin eroja. On mahdollista, että erilaisen tiheyden ja lämpöarvon myötä saman lämpöenergian saamiseksi voidaan joutua käyttämään aavistuksen enemmän jonkin valmistajan polttoainetta kuin toisen.

EN 590 ja sen liitännäisstandardit eivät kerro suoraan dieselöljylle ohjeellista tai tyypillistä tehollista lämpöarvoa, vaan tämä riippuu polttoaineen valmistajasta. Lämmittimen CO₂-päästöjen ja hyötysuhteen määrittämisessä on tästä syystä epävarmuutta, koska tehollinen lämpöarvo riippuu täysin lähteestä. Esimerkiksi Polttoaineluokituksen (2018) mukaan dieselöljyn tehollinen lämpöarvo on 43,0 MJ/kg, Reif (2014, 42) ilmoittaa tyypillisen Saksassa myytävän dieselöljyn teholliseksi lämpöarvoksi 42,7 MJ/kg vuosina 2005 ja 2006. Shellin (Knowledge Guide n.d.) mukaan laatu EN 590 tarkoittaa, että sen tehollinen lämpöarvo on 42,9 MJ/kg, kun taas markkinoimalleen GTL-dieselille Shell ilmoittaa teholliseksi lämpöarvoksi 44,0 MJ/kg. Boschin (2014, 300) mukaan lämpöarvo on tyypillisesti 42,9 ... 43,1 MJ/kg.

Yllämainittujen lähteiden mukaan EN 590 standardin polttoaineen lämpöarvo Euroopassa olisi siis arvojen 42,7 ja 44,0 MJ/kg välissä. Tosin osa tiedosta on vanhentunutta, osa markkinointipuhetta ja osa tietoa, jonka avulla tehdään kansallisesti suuria linjanvetoja ja poliittisia päätöksiä. Siksipä tilastokeskuksen ilmoittama 43,0 MJ/kg lienee Suomessa keskiarvoinen, ja oikeassa suuruusluokassa oleva tehollinen lämpöarvo. Tilastokeskuksen lämpöarvolla laskeminen on myös sen takia loogista, että jo aiemmin päätettiin laskea päästöjä käyttämällä tilastokeskuksen määrittämiä CO₂-päästökertoimia eri polttoaineille.

Tilanne on dieselöljyn tiheyden kanssa vastaava kuin lämpöarvon kanssa. Työssä ei tulla testaamaan lämmittimien polttoaineiden kulutuksia, vaan laskenta tehdään valmistajan

ilmoittamien polttoaineiden kulutuksien perusteella. Koska polttoaineen kulutukset on ilmoitettu litroina tunnissa, laskettu kulutus kiloina tunnissa voi vaihdella paljonkin riippuen polttoaineen tiheydestä. Standardin EN 590 mukaisesti tiheys voi vaihdella 820 ... 845 kg/m³ välillä. Käyttämällä tilastokeskuksen polttoaineluokituksessa määrittämää tiheyttä 830 kg/m³ saadaan jälleen ainakin oikeaa suuruusluokkaa oleva arvo.

Bensiinilämmittimissä polttoaineen ominaisuudet tulee ottaa vastaavalla tavalla huomioon. Bensiinin tiheys voi standardin EN228 mukaan vaihdella jopa vielä enemmän kuin dieselöljyllä, koska tiheyden tulee olla standardin mukaan 720 ... 775 kg/m³ välissä. Vaihtelua voi esiintyä siis 55 kg/m³.

Nesteen Bensiinioppaan (2015, 22) mukaan kesä- ja talvilaadun bensiinin välillä voi olla kulutuseroja. Autosta ja ajotavasta riippuen kulutus on korkeampaa talvilaadun bensiinillä, koska talvilaadun polttoaineen tiheys on alhaisempi kuin kesälaadun. Myös talvilaatuinen diesel on Ylen (2016) mukaan tiheydeltään ja lämpöarvoltaan kesälaadun dieseliä pienempää, mikä tarkoittaa suurempaa polttoaineen kulutusta. Lisälämmittimiä tarvitaan eniten talvella, joten talvilaadun polttonesteiden ominaisuuksien selvittäminen, ja päästöjen laskemien niiden arvojen mukaan olisi loogista. Mutta koska lämmittimiä voidaan käyttää lämmitykseen myös syksyisin ja keväisin, jolloin saatavilla on kesälaadun polttoaineita, tulisi eri laatujen välillä tehdä laskelmat päästöistä. Lisäksi tulisi arvioida pakkaskuukausien lukumäärä ja arvioida lämmittimien polttoaineen kokonaiskulutus eri polttoainelaaduilla koko talvea kohti.

Koska tilastokeskuksen polttoaineluokitus on keskiarvo Suomessa myytävistä polttoaineista ja opinnäytetyön keskimmäisin tarkoitus ei ole keskittyä päästöjen mahdollisimman tarkkaan mallintamiseen, on tarkastelun yksinkertaistaminen mielekäästä. Käyttämällä tilastokeskuksen määrittämiä keskimääräisiä lämpöarvoja ja tiheyksiä molempien polttoaineiden laskennoissa, saadaan jälleen oikeaa suuruusluokkaa olevia tuloksia myös tästäkin näkökulmasta. Polttoaineluokituksessa bensiinin tiheydeksi on määritelty 750 kg/m³ ja dieselöljylle 830 kg/m³.

Laskennassa käytettävät polttoaineiden tiheydet, teholliset lämpöarvot ja CO₂-päästökerroimet on esitetty kootusti taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Laskennassa käytettävät lukuarvot

Polttoaineiden ominaisuudet							
Polttoaine		Bensiini EN 228			Diesel EN 590		
Tiheys	kg/m ³	min	laskenta	max	min	Laskenta	Max
		kg/l	720	750	775	820	830
Tehollinen lämpöarvo	MJ/kg	41,7			43,0		
	kWh/kg	11,583			11,944		
CO ₂ -päästökerroin	t/TJ	68,6			65,5		

5.5 Lisälämmittimien hyötysuhde

Webasto ei ilmoita lämmitinten teknisissä tiedoissa niiden hyötysuhteita. Webaston ilmoittama lämmittimen teho on kuitenkin siirrettävään väliaineeseen täysin siirtynyt lämpöteho, eli termisen hyötysuhteen kannalta väliaineeseen aikayksikössä siirtynyt lämpöenergia. Hyötysuhteita kannattaa arvioida siksi, että saataisiin näkemys siitä, että onko polttoainekäyttöisen lämmittimen käyttäminen ylipäätään mielekästä sähköautojen lämmityksessä.

Kun polttoaineen ominaisuudet on määritelty, on lisälämmittimien hyötysuhde laskettavissa polttoaineen kulutuksen ja lämmittimen ilmoitetun lämpötehon suhteesta. Webasto-lämmitin ei tuota aina välttämättä ilmoitettua maksimitehoaan, vaikka lämmitin olisikin käynnissä täydellä teholla. Esimerkiksi alhaisemman lämpöarvon omaava polttoaine tuottaa lämmitinkäytössä suorassa suhteessa samalla kulutuksella vähemmän tehoa, kuin korkeamman lämpöarvon sisältävä polttoaine (Puolitaival 2018). Koska lämmittimien tuottamasta tehosta eri lämpöarvon polttoaineilla ei ole saatavilla mittausdataa, laskentaa yksinkertaistetaan niin, että Webasto-lämmittimien oletetaan tuottavan niille ilmoitettu lämpöteho taulukkoon 7 kootuilla tilastokeskuksen arvoilla. Hyötysuhde lasketaan polttoaineen sisältämän lämpöenergian ja lämmittimen lämpötehon suhteesta.

Kriittisesti ajateltuna polttoaineesta teoreettisesti vapautuvan energian ja laitteen lämpötehon suhteella saadaan ennemmin selville lämmittimen lämmönvaihtimen hyötysuhde. Lämmittimen todellista hyötysuhdetta tulisi analysoida lämmittimen kokonaisenergian kulutuksen kautta, eli laitteen (ja mahdollisen puhallinkytkennän) kuluttama sähköenergia pitäisi laskea mukaan. Lisäksi sähköä kuluttavien komponenttien hyötysuhteet tulisi

ottaa huomioon. Myös se hyötysuhde, millä auton oma lämmitysjärjestelmä pystyy siirtämään lämmön sisätiloihin, tulisi ottaa koko lämmitys- ja lämmönsiirtoprosessin kannalta huomioon.

Koska sähköenergian kulutus on kuitenkin luvun 4 mukaisesti pientä, ja auton oman lämmitysjärjestelmän hyötysuhde riippuu autonvalmistajasta, voidaan laskentaa yksinkertaistaa opinnäytetyön tavoitteiden mukaisesti. Lämmittimen hyötysuhteen oletetaan siis olevan sama asia kuin lämmönvaihtimen hyötysuhde. Yksinkertaistettu laskentaesimerkki Thermo Top Evo 5 D -vesilämmittimelle on esitetty alaluvussa 5.5.1, sekä tulokset kaikille lämmittimille kootusti alaluvuissa 5.5.2 ja 5.5.3.

5.5.1 Thermo Top Evo 5 D -vesilämmittimen hyötysuhde

Thermo Top Evo 5-diesellämmittimen kulutus täydellä teholla on valmistajan ilmoituksen mukaisesti 0,62 l/h. Polttoaineeseen sitoutunut tehollinen lämpöarvo on taulukon 7 mukaisesti 43,0 MJ/kg. Palamisessa dieselöljystä vapautuva tehollinen lämpöenergia tunnissa on polttoaineen kulutuksen ja lämpöarvon tulo. Nämä arvot tulee muuttaa sopiviin yksiköihin laskentaa varten.

Dieselöljylle määritelty tehollinen lämpöarvo $Q = 43,0$ MJ/kg on kilowattitunteina per kilogramma yhtälön (3) mukaisesti

$$Q = 43,0 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = \frac{43,0 \text{ kWh}}{3,6 \text{ kg}} = 11,944 \text{ kWh/kg} \quad (3)$$

Polttoaineen kulutus tulee muuttaa kiloiksi tunnissa. Kun polttoaineen tiheys on 830 kg/m³ ja Evo 5 D:n maksimikulutus 0,62 l/h, kulutus on yhtälön (4) mukaisesti

$$q = 0,62 \frac{\text{l}}{\text{h}} \cdot 0,83 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 0,5146 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (4)$$

Polttoaineesta vapautuva lämpöenergia tunnissa on siis

$$0,5146 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 11,94444 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} = 6,1466 \text{ kW} \quad (5)$$

Lämmittimen (tai lämmönvaihtimen) hyötysuhde saadaan jakamalla ilmoitettu väliaineeseen siirtyvä teho polttoaineesta vapautuvan lämpöenergian määrällä yhtälön (6) mukaisesti. Thermo Top Evo 5D-lämmittimen teho on 5 kW, joten hyötysuhteeksi saadaan

$$\eta = \frac{5 \text{ kW}}{6,1466 \text{ kW}} = 0,81345 = 81,3 \% \quad (6)$$

Thermo Top Evo 4-diesellämmittimelle hyötysuhde on kulutuksella 0,495 l/h vastaavan laskennan kautta 81,5 %.

Hyötysuhteen määrittämisessä on muistettava, että käytetyn polttoaineen ominaisuudet ja lämmittimen polttoaineen kulutus merkitsevät lopputuloksessa erittäin paljon. Jos oletettaisiin, että Evo 5 D -lämmittimen kulutus olisi ilmoitetulla ± 10 % toleranssilla mahdollisimman alhainen (0,558 l/h), lämmittimen hyötysuhde kasvaa. Lisäksi jos polttoaineen tiheys ei olisi tilastokeskuksen määrittelemä, vaan EN 590-standardin skaalan 820 – 845 kg/m³ alin mahdollinen, lämmittimien hyötysuhteeksi voidaan laskea tällä kulutuksella yli 90 %. Lisäksi jos polttoaineen tehollisena lämpöarvona käytetään pienempää lukua kuin 43,0 MJ/kg, lämmittimien hyötysuhde paranee entisestään.

Jos lukuina käytetään lämmittimen kannalta epäedullisimpia lukuja (korkein mahdollinen polttoaineen tiheys ja kulutus), Evo 5D-lämmittimen hyötysuhde on polttoaineluokituksen 43,0 MJ/kg lämpöarvolla 75 % tasolla. Hyötysuhde riippuu siis ennen kaikkea laskennassa käytetyn polttoaineen ominaisuuksista, lämmitinyksilön kulutuksesta ja sen tuottamasta todellisesta lämpötehosta. Joka tapauksessa laskennan perusteella voidaan sanoa, että dieselkäyttöisten vesilämmittimien hyötysuhde maksimiteholla on korkea, keskimäärin 80 % luokkaa.

5.5.2 Vesilämmittimien hyötysuhde

Hyötysuhteet voidaan määrittää myös muille lämmittimille. Laskenta tehdään vastaavasti ja taulukon 7 lähtöarvoilla kuten edellä. Bensiini- ja dieselkäyttöisten Thermo Top Evo-vesilämmittimien hyötysuhteet ja osa laskennan lähtöarvoista on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Thermo Top Evo bensiini- ja diesel-lämmittimien hyötysuhteet

Lämmitin		Thermo Top			
		Bensiini		Diesel	
		Evo 4 B	Evo 5 B	Evo 4 D	Evo 5 D
Maksimiteho	kW	4	5	4	5
Polttoaine		Bensiini EN 228 DIN 51625		Diesel EN 590	
Kulutus maksimiteholla (+ - 10 %)	l/h	0,56	0,705	0,495	0,62
Laskettu kulutus tilastokeskuksen polttoaineen tiheydellä	kg/h	0,42	0,52875	0,41085	0,5146
Polttoaineen lämpöenergia	kW	4,865	6,1246875	4,907375	6,1466111
Hyötysuhde		0,8222	0,8164	0,8151	0,8135
	%	82,2	81,64	81,5	81,4

Vesilämmittimissä bensiinimallit vaikuttaisivat olevan hyötysuhteeltaan lievästi diesel-malleja parempia näillä laskennan arvoilla. Erot ovat kuitenkin pieniä, ja loppukäyttäjän taloudellisesta näkökulmasta katsottuna edullisempaa dieselöljyä kuluu litroissa vähemmän kuin bensiiniä saman lämmön tuottamiseksi. Ilmalämmittimien hyötysuhteet on esitetty vastaavalla tavalla alaluvussa 5.5.3.

5.5.3 Ilmalämmittimien hyötysuhde

Toisin kuin Thermo Top Evo-vesilämmittimissä, Air Top Evo-mallien teknisissä tiedoissa on ilmoitettu kulutus sekä litroina tunnissa, että kiloina tunnissa. Valmistaja on tosin käyttänyt polttoaineiden tiheyksinä eri arvoja kuin tilastokeskus. Eri polttoaineen tiheyksillä saadaan aikaan aiemmin mainittua virhettä laskentaan. Vesilämmittimille ei

ole ilmoitettu kulutusta kiloina tunnissa, joten jotta niitä voitaisiin vertailla ilmalämmittimiin luotettavasti, tulee valmistajan ilmoittama kg/h-kulutus jättää huomiotta. Hyötysuhde lasketaan siis käyttämällä tilastokeskuksen polttoaineiden tiheyksiä, kuten aieminkin. Joissakin tapauksissa lämmittimen hyötysuhde itseasiassa paranee tilastokeskuksen tiheydellä laskettaessa, kun verrataan laskentaan valmistajan ilmoittamilla kg/h -kulutuksella.

Air Top Evo-lämmittimissä on aiemmin mainittu boost-toiminto, joka on käytettävissä rajoitetun ajan. Evo 55-mallissa tällä asialla voi olla merkitystä, koska 5,5 kW tehoinen boost-toiminto on rajattu toimimaan vain 30 minuuttia. Tämän jälkeen lämmitin siirtyy 5,0 kW nimellisteholle, mikäli sisätilojen lämmitykseen vaaditaan edelleen suurinta mahdollista tehoa. Air Top Evo 40-mallissa boost-tehon toiminta-aika on autokäyttöön enemmän kuin riittävät 6 tuntia. Kulutuslukemat ja hyötysuhteet on siis määritettävä niin nimellisteholla, kuin boost-teholla. Ilmalämmittimien hyötysuhteet on esitetty taulukoissa 9 ja 10.

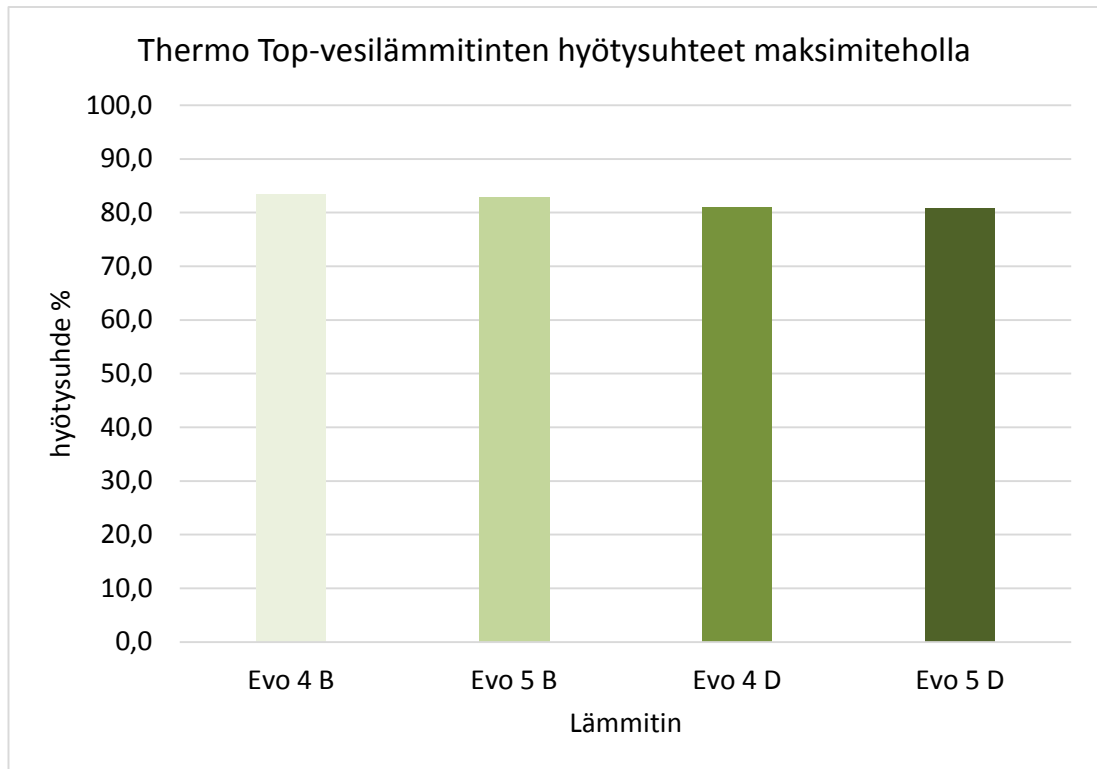
TAULUKKO 9. Air Top Evo-ilmalämmittimien hyötysuhde boosterteholla

Lämmitin		Air Top Boosterteholla			
		Bensiini		Diesel	
		Evo 40 B	Evo 55 B	Evo 40 D	Evo 55 D
Boosterteho	kW	4	5,5	4	5,5
Polttoaine		Bensiini EN 228		Diesel EN 590 EN 14214	
Kulutus Boosterteholla (+ - 10 %)	l/h	0,58	0,8	0,49	0,67
(Ilmoitettu kulutus boosterteholla)	(kg/h)	(0,43)	(0,59)	(0,41)	(0,56)
Laskettu kulutus tilastokeskuksen polttoaineen tiheydellä	kg/h	0,435	0,6	0,4067	0,5561
Polttoaineen lämpöenergia	kW	5,039	6,950	4,858	6,642
Hyötysuhde Boosterteholla		0,8052	0,8027	0,8172	0,8218
	%	80,5	80,3	81,7	82,2

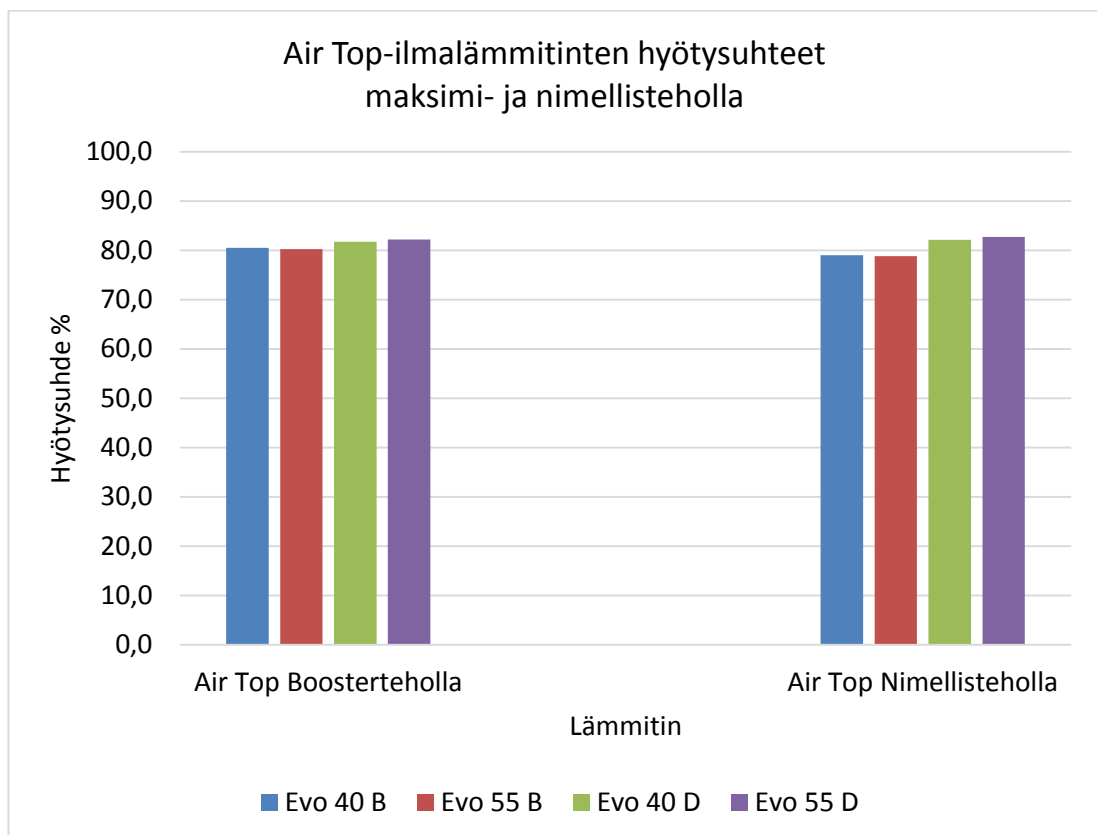
TAULUKKO 10. Air Top Evo-ilmalämmittimien hyötysuhde nimellisteholla

Lämmitin		Air Top Nimellisteholla			
		Bensiini		Diesel	
		Evo 40 B	Evo 55 B	Evo 40 D	Evo 55 D
Nimellisteho	kW	3,5	5	3,5	5
Polttoaine		Bensiini EN 228		Diesel EN 590 EN 14214	
Kulutus nimellisteholla (+ - 10 %)	l/h	0,51	0,73	0,43	0,61
(Ilmoitettu kulutus nimellisteholla)	(kg/h)	(0,38)	(0,54)	(0,36)	(0,51)
Laskettu kulutus tilastokeskuksen tiheydellä	kg/h	0,3825	0,5475	0,3569	0,5063
Polttoaineen lämpöenergia	kW	4,431	6,342	4,263	6,047
Hyötysuhde nimellisteholla		0,7900	0,7884	0,8210	0,8268
	%	79,0	78,8	82,1	82,7

Ilmalämmittimissä bensiinimallien hyötysuhteet näyttäisivät olevan huonompia kuin diesellämmittimien. Hyötysuhteet ovat silti 80 % luokkaa kuten vesilämmittimissäkin. Myös ilmalämmittimissä saman tehoinen lämmitin kuluttaa bensiinimallisena litroissa enemmän polttoainetta kuin diesellämmitin. Bensiinimalliset vesilämmittimet ovat tämän vertailun perusteella hyötysuhteeltaan hieman parempia kuin ilmalämmittimet, dieselkäyttöisillä ilmalämmittimillä taas on aavistuksen vesilämmittimiä parempi hyötysuhde. Taulukkojen 8, 9 ja 10 hyötysuhteet vesi- ja ilmalämmittimille on esitetty kootusti kuvioissa 48 ja 49.



KUVIO 48. Thermo Top Evo-vesilämmittimien hyötysuhteet



KUVIO 49. Air Top Evo-ilmalämmittimien hyötysuhteet

5.5.4 Kilpailijan etanolivesilämmittimen hyötysuhde

Webaston kilpailija Eberspächer on tutkinut bioetanolilämmittimen käyttöä sähköautossa vuonna 2013. Apfelbeckin ja Barthelin artikkelissa on ilmoitettu Hydronic E4S-bioetanolilämmittimen teknisiä tietoja. Normaalisti valmistajat eivät ilmoita julkisesti lämmittimensä hyötysuhteita, mutta autoalan ammattilaisille suunnatussa SAE Technical Paper -artikkelissa on kuitenkin ilmoitettu E4S-lämmittimen lämmönvaihtimen hyötysuhteeksi 85 %. (Apfelbeck & Barthel 2013). Tekniset tiedot on esitetty taulukossa 11.

TAULUKKO 11. Bioetanolilämmittimen teknisiä tietoja (Apfelbeck & Barthel 2013)

Model: Hydronic 2 ECONOMY	E4S Mono Fuel Heater			
Ethanol / Bioethanol: E70 - E100 Data valid with E85				
Heat Flow	[kW]	Power 4,3	Large 3,7	Small 1,3
Fuel Consumption	[l/h]	0,78	0,67	0,23
Efficiency Heat Exchanger	[%]	85		
Mean Electr. Power in Operation	[W]	27	20	7

Tekniset tiedot ovat taulukon 11 mukaisesti voimassa E85-polttoaineella. Mikäli Eberspächerin ilmoitettu hyötysuhde halutaan tarkistaa ja vertailla Webaston hyötysuhteisiin, käytetyn polttoaineen ominaisuuksien tulee olla tiedossa.

Tilastokeskus ei ole määrittänyt E85:lle polttoaineluokituksessa arvoja. Tehollinen lämpöarvo tuli siis etsiä muista lähteistä, ja AFDC:n (2014) mukaan lämpöarvo on E85-polttoaineelle 6,4995 ... 7,3898 kWh/l. Vaihtelua syntyy E85-polttoaineelle sallitusta etanolipitoisuuden ja tiheyden vaihteluista. Jos Eberspächerin ilmoittama hyötysuhde jätettäisiin huomioita, ja hyötysuhde laskettaisiin vastaavasti kuin aiemmin Webaston lämmittimille, hyötysuhde olisi näiden lukujen keskimääräisellä lämpöarvolla (6,9447 kWh/l) ja 4,3 kW teholla 79,4 %. Pienimmällä mahdollisella polttoaineen lämpöarvolla 6,4995 kWh/l hyötysuhde on 84,8 %, eli käytännössä sama kuin ilmoitettu arvo 85 %. Suuremmalla lämpöarvolla hyötysuhde tipahtaa 74,6 % tasolle.

Eberspächer on siis ainakin AFDC:n ilmoittamasta E85-polttoaineen lämpöarvoista pääteltynä ilmoittanut lämmittimensä hyötysuhteen itselleen edullisimmalla luvulla. On toki

mahdollista, että ilmoitettu hyötysuhde perustuu johonkin laboratoriomittaukseen, ja testissä käytetyn polttoaineen ominaisuuksilla lämmitin on tuottanut halutut 4,3 kW tehoa 85 % hyötysuhteella ja kuluttanut tämän aikana 0,78 litraa etanolia tunnissa. Lisäksi AFDC:n ilmoittama lämpöarvo voi olla väärä. Hyötysuhteen määrittämisessä on vastaavaa epätarkkuutta myös Eberspächerin lämmittimelle kuin aiemmin esitellyissä laskelmissa. Ilman lisätietoja tai virallisten testien tuloksia ei kuitenkaan pystytä tekemään enempää johtopäätöksiä Hydronic E4S-lämmittimen suorituskyvystä Webasto-lämmittimiin nähden.

Vaikka Eberspächerin ilmoitettuun hyötysuhteeseen olisi hyvä suhtautua kriittisesti kun tarkempia lähteitä ei ole saatavissa, Hydronic E4S-lämmitin voi silti olla hyötysuhteeltaan Webaston Evo-vesilämmittimiä parempi. Tämä johtuu siitä, että silloin kun Webasto suunnitteli uutta lämmitintä, se ei pyrkinyt tekemään Thermo Top Evosta lämmönsiirron hyötysuhteeltaan parempaa lämmitintä kuin edeltäjämallista Thermo Top C:stä. Tarkoituksena oli sen sijaan tehdä edeltäjää fyysisesti pienempi lämmitin, jossa on älykkäitä ominaisuuksia, kuten vesipumpun PWM-ohjaus. Lämmittimen pienempi koko tarkoittaa pienempää lämmönvaihtimen kokoa, jolloin maksimiteho, veteen siirtyvä lämpöteho ja lämmönvaihtimen hyötysuhde ovat pienemmät kuin edeltäjämallissa Thermo Top C. (Puolitaival 2018).

Hydronic E4S-vesilämmittimen hyötysuhdetta tulisikin siis verrata Thermo Top C-lämmittimeen, koska ne ovat ominaisuuksiltaan ja toimintatavaltaan lähes toistensa kaltaiset. Kun Thermo Top C:lle lasketaan hyötysuhde vastaavasti kuin aiemmin, eli tilastokeskuksen keskimääräisillä arvoilla, 5,2 kW teholla ja 0,61 l/h kulutuksella diesellämmittimen hyötysuhde on lähes 86 % (Kaha Henkilöautolämmittimet asennusperusteet 2018). Bensiinimallille hyötysuhde on 85,5 %.

Webasto ei valmista jälkimarkkinoille etanolilla toimivia lämmittimiä, jolloin suora vertailu eri polttoaineiden välillä ei välttämättä ole mielekäästä. Toisaalta tämän opinnäytetyön tarkoituksena ei ole näiden kahden kilpailevan lämmitinvalmistajan menneisyyden tuotteiden vertailu. Tarkoituksena on näyttää, että polttoainekäyttöisillä lämmittimillä on yleisesti ottaen hyvä hyötysuhde.

Jos eri polttoaineita verrataan taloudellisesta näkökulmasta toisiinsa, etanolilämmitin näyttäisi kuluttavan täydellä teholla enemmän polttoainetta kuin Webaston 4 kW tehoiset bensiini- ja diesellämmittimet. Tämä johtuu luultavasti etanolin alhaisemmasta tehollisesta lämpöarvosta polttoaineen massaa kohden. Etanolilämmittimen suurta kulutusta kompensoi kuitenkin hieman se, että E85 maksaa luultavasti litraa kohti vähemmän kuin bensiini tai diesel.

Webaston Thermo Top Evo-lämmittimiä on saatavana jälkimarkkinoilla vain bensiini- ja dieselnäyttöisenä. Kilpailijan etanolilämmittimelle ei ole siis olemassa Kahan valikoimissa suoraa vaihtoehtoa. Webasto tarjoaa kuitenkin markkinointimateriaalinsa perusteella ajoneuvoteollisuudelle etanolikäyttöistä lämmitintä. Lämmittimen tehoalue on 1,5 ... 4,6 kW ja sen keskimääräinen etanolinkulutus on 0,4 l/h. Hyötysuhteeksi ilmoitetaan 85 %. (Webasto New Heating Concepts 2018). Edes Kahalle ei ollut saatavilla kyseisestä lämmitimestä kirjoitushetkellä enempää tietoa, ja toistaiseksi vaikuttaa siltä, että Webasto-etanolilämmitintä ei tarjota jälkimarkkinoille lainkaan.

5.6 Ajonaikaiset paikalliset CO₂-päästöt Suomessa

Bensiini- ja dieselpolttoaineelle on määritelty polttoaineluokituksessa ominaiset CO₂-päästökertoimet. Dieselille kerroin on taulukon 7 mukaisesti 65,5 tonnia hiilidioksidia jokaista tuotettua terajoulea kohti. Bensiinille luku on 68,6 t/TJ. Päästökertoimissa on otettu huomioon biopolttoaineiden osuus, jotka eivät alaluvun 5.4.1 mukaisesti tällä laskeutavalla vaikuta liikennepolttoaineiden palamisessa tuotetun hiilidioksidin määrään.

5.6.1 Thermo Top Evo 5 D -lämmittimen päästöt

Jos päästökertoimen 65,5 t/TJ tonnit muutetaan kiloiksi ja terajoulet megajouleiksi, CO₂-päästökertoimeksi q_{CO_2} saadaan yhtälön (7) mukaisesti

$$q_{CO_2} = 65,5 \frac{t}{TJ} = 65,5 \cdot \frac{1000 \frac{kg_{CO_2}}{t}}{1\,000\,000 \frac{MJ}{TJ}} \cdot \frac{t}{TJ} = 0,0655 \frac{kg_{CO_2}}{MJ} \quad (7)$$

Näin siis jos tuotetaan yhden megajoulen verran energiaa polttamalla dieseliä, ympäristöön vapautetaan 0,0655 kg (65,5 grammaa) hiilidioksidia. Dieselin tehollinen lämpöarvo on taulukon 7 mukaan $Q = 43,0$ MJ/kg. Tästä seuraa se, että jos poltetaan yksi kilo dieseliä, ympäristöön vapautuu hiilidioksidia yhteensä yhtälön (8) mukaisesti

$$0,0655 \frac{\text{kg}_{\text{CO}_2}}{\text{MJ}} \cdot 43,0 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}_d} = 2,8165 \frac{\text{kg}_{\text{CO}_2}}{\text{kg}_d} \quad (8)$$

Lämmittimen kulutus kiloina määräytyy vastaavasti kuin edellisessäkin alaluvussa. Kun Thermo Top Evo 5:n ilmoitettu kulutus maksimiteholla on 0,62 l/h ja polttoaineen tiheys on 830 kg/m^3 , kulutus on kiloina tunnissa 0,5146 kg/h. Kun tämä kulutus kerrotaan yhtälössä (8) lasketulla hiilidioksidin tuotolla per kilogramma, lämmittimen maksimi CO₂-päästöiksi tunnissa saadaan yhtälön (9) mukaisesti

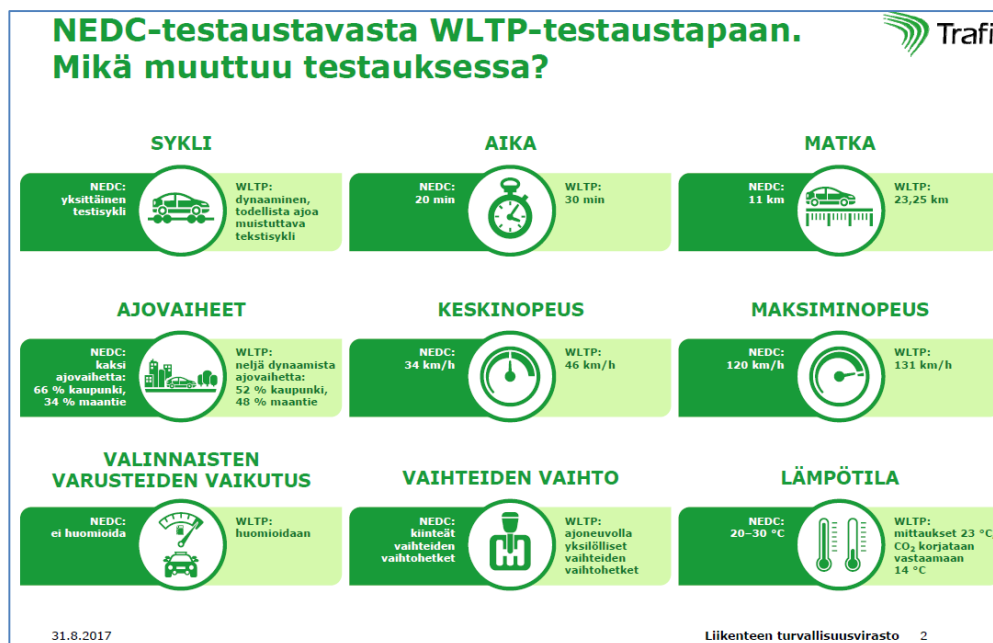
$$0,5146 \frac{\text{kg}_d}{\text{h}} \cdot 2,8165 \frac{\text{kg}_{\text{CO}_2}}{\text{kg}_d} = 1,4493709 \frac{\text{kg}_{\text{CO}_2}}{\text{h}} \quad (9)$$

Kun lämmitintä käytetään tunti, ympäristöön vapautetaan siis paikallisesti teoriassa hie-man yli 1449 grammaa hiilidioksidia. Hiilidioksidipäästöjen laskuihin pätevät samat las-kennan epätarkkuudet kulutuksessa kuin hyötysuhteen laskennassa. Mikäli polttoainetta kuluu toleranssin mukainen 10 % enemmän tai vähemmän kuin 0,62 l/h, CO₂-päästöt nousevat tai laskevat suorassa suhteessa lasketusta 1449 grammasta.

Kuitenkin uusien autojen kaupassa ja verokohtelussa lainsäätäjiä ja kuluttajia kiinnostaa ennemminkin tietää paljonko ovat auton CO₂-päästöt ajettua kilometriä kohden, kuin mikä on polttoaineen kulutus aikayksikköä kohden. Tämän vuoksi lisälämmittimen tuot-tamia päästöjä voidaan verrata ajosuoritteeseen.

Minkä tahansa palotapahtuman CO₂-päästöt ovat suoraan verrannollisia tapahtuman polt-toaineen kulutukseen. Tämä pätee myös tavanomaiselle henkilöautolle. Polttoainetehok-kuus tai polttoainetaloudellisuus tarkoittaa näissä autoissa ajetun matkan ja siinä kulute-tun polttoainemäärän suhdetta. Tyypin hyväksynnässä käytettyjen laboratoriotestien ensi-sijainen tarkoitus onkin antaa kuluttajille mahdollisuus vertailla luotettavasti eri automal-lien CO₂-päästöjä ja polttoainetaloudellisuutta. Siksi uusien henkilöautojen päästöarvoja on määritetty 1980-luvulta lähtien NEDC-ajosyklin avulla. Tämä ajosykli on kuitenkin

todettu tekniikan kehittyessä vanhanaikaiseksi, ja siksi EU on laatinut uuden WLTP-testimenetelmän. (Trafi 2017). NEDC-testaustavan ja WLTP-testaustavan keskeisimmät erot on esitelty kuviossa 50.



KUVIO 50. NEDC-testaustavan ja WLTP-testaustavan keskeisimmät erot (Trafi 2017)

Sähköautoille EU-yhdistetty polttoaineen kulutus ja CO₂-päästöt ovat pakoputkipäästöjen puuttuessa 0 g/km. Kyseinen päästöarvo on TTW, eli Tank-To-Wheel päästöarvo, mikä tarkoittaa päästöjä, jotka syntyvät energian siirtymisessä energiasäiliöstä (eli akusta) pyörrille. (Huus, Maas & Hass 2013, 28.)

Ajamiseen kulutettava aika on NEDC-testaustavassa pysähdyksineen ja paikallaoloinen kuvion 50 mukaisesti 20 min. Kuljettu matka on 11 km. Kun lisälämmitin tuottaa täydellä teholla tunnissa noin 1,44 kg hiilidioksidia, se tuottaisi NEDC-syklin aikana kolmasosan tästä, koska 20 minuuttia on 1/3-osa tunnista. Näin jos kuviteltaisiin, että NEDC-syklin mukainen matka ajettaisiin testilämpötilan (20 ... 30 °C) sijaan kylmissä olosuhteissa ja sisätilojen lämmittämiseen käytettäisiin lisälämmitintä täydellä teholla koko tuon syklin ajan, Thermo Top Evo 5 -diesellämmitin tuottaisi hiilidioksidia tänä aikana

$$1,4493709 \frac{\text{kg}_{\text{CO}_2}}{\text{h}} \cdot \frac{1}{3} \text{ h} = 0,48312 \text{ kg}_{\text{CO}_2} \quad (10)$$

eli hieman yli 483 grammaa. Kuljettua kilometriä kohden tämä tekisi

$$\frac{0,48312 \text{ kg}_{\text{CO}_2}}{11 \text{ km}} = 0,0439203 \frac{\text{kg}_{\text{CO}_2}}{\text{km}} = 43,9 \frac{\text{g}_{\text{CO}_2}}{\text{km}} \quad (11)$$

Jos lisälämmittintä ajateltaisiin sovitettavaksi WLTP-syklin mukaiseen ajosuoritteeseen kylmissä oloissa, olisivat syklin aika 0,5 h ja kuljettu matka 23,25 km. Lämmittimen päästöt kilometrille olisivat siis yhtälön (12) mukaiset:

$$\frac{0,5 \cdot 1,4493709 \text{ kg}_{\text{CO}_2}}{23,25 \text{ km}} = 0,0311692 \frac{\text{kg}_{\text{CO}_2}}{\text{km}} = 31,1 \frac{\text{g}_{\text{CO}_2}}{\text{km}} \quad (12)$$

Kun WLTP-päästöä verrataan aiemmin laskettuun NEDC-päästöön, havaitaan että tismalleen sama lämmitin tuottaa yli 10 grammaa vähemmän hiilidioksidia kilometrille. Lisälämmittimen CO₂-päästöjen laskeminen kilometriä kohden ei siis ole välttämättä mielekäästä, sillä auton keskinopeus vaikuttaa täysin tulokseen kuljettua kilometriä kohti. Jos lämmitintä esimerkiksi käytettäisiin täydellä teholla maantiellä tasaista 80 km/h nopeutta ajettaessa, CO₂-päästöt kuljettua kilometriä kohti olisivat vain

$$\frac{1,4493709 \frac{\text{kg}_{\text{CO}_2}}{\text{h}}}{80 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 0,0181171 \frac{\text{kg}_{\text{CO}_2}}{\text{km}} = 18,1 \frac{\text{g}_{\text{CO}_2}}{\text{km}} \quad (13)$$

Edellä lasketut päästöarvot ovat suurimpia mahdollisia arvoja, mitä lämmitin tuottaisi, koska lämmittimen on oletettu käyvän jatkuvasti täydellä teholla. Osateholla 2,5 kW toimiessaan Thermo Top Evo 5D:n voidaan olettaa kuluttavan puolet maksimitehon polttoaineesta, koska dieselvesilämmittimissä osateho on puolet täydestä tehosta (Henkilöautolämmittimet asennusperusteet 2018). Puolella polttoaineen kulutuksella lämmittimen tuottamat päästötkin olisivat puolet edellä lasketuista. Päästöt tunnissa riippuvat siis täysin lämmittimen käytöstä ja lämmitystehon tarpeesta. Lisäksi lämmitinvalinta vaikuttaa päästöihin. Maksimiteholtaan pienemmällä lämmittimellä, ei saada yhtä suurta lämmön tuottoa, mutta samalla laskevat polttoaineen kulutus ja päästöt. Bensiinikäyttöisissä vesilämmittimissä osateho ei aina ole puolet maksimitehosta, esimerkiksi 5 kW tehoisen Thermo Top Evo 5 B -lämmittimen osateho on 2,8 kW (Henkilöautolämmittimet asennusperusteet 2018).

Edellisissä kappaleissa lasketut arvot ovat siis ”pahimpia mahdollisia” CO₂-arvoja, joita sähköauto paikallisesti tuottaisi jos siihen asennettaisiin Thermo Top Evo 5D-lämmitin. Todellisessa käytössä CO₂-arvot voivat olla paljonkin pienempiä kilometrille – riippuen lämmittimen käytöstä ja ajo-olosuhteista. Etenkin matka-ajossa hiilidioksidipäästöt ovat pienet kuljettua kilometriä kohti. Jos sähköautoa ei saataisi lataukseen ja sitä haluttaisiin esilämmittää, myös esilämmitykseen käytetty aika tulisi ottaa huomioon ja se tulisi lisätä esilämmitystä seuraavan ajosuorituksen paikallisiin CO₂-päästöihin.

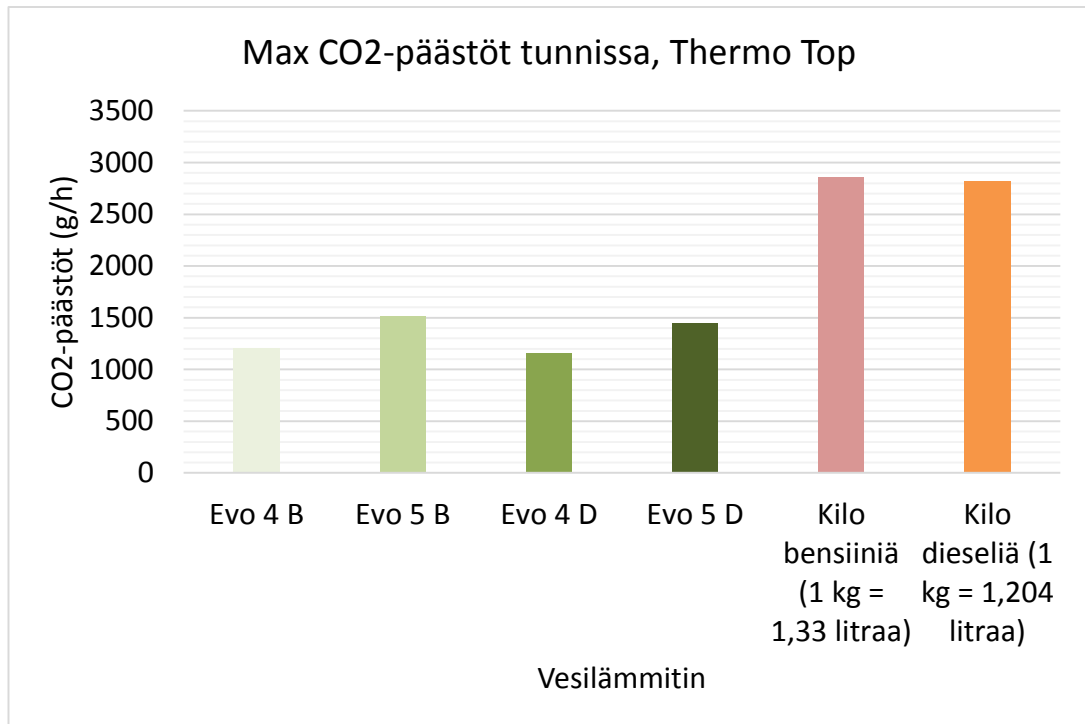
5.6.2 Vesilämmittimien CO₂-päästöt

Myös bensiinimalleille ja ilmalämmittimille voidaan laskea CO₂-päästöt vastaavalla tavalla kuin edellisessä alaluvussa. Eri polttoaineiden ominaisuudet tulee ottaa huomioon vastaavasti kuten hyötysuhteiden laskennassakin. Vesilämmittimien päästöarvoja on koottu taulukkoon 12.

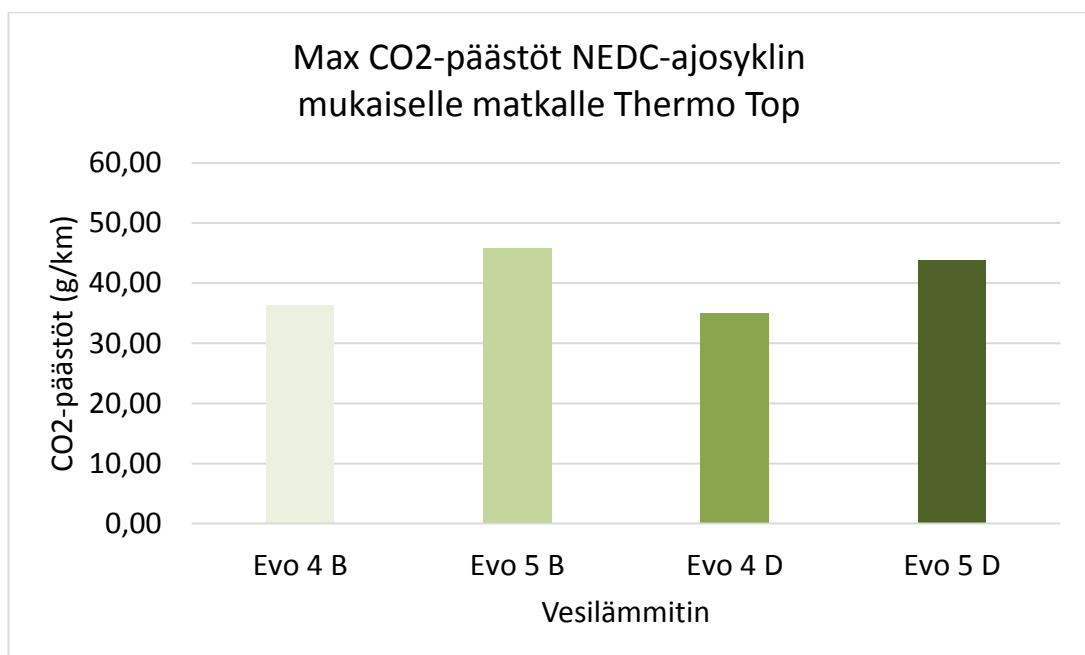
TAULUKKO 12. Thermo Top Evo-lämmittimien CO₂-päästöt tunnissa, eri ajosykleillä ja tasaisilla nopeuksilla polttoaineen kulutuksen mukaan

CO ₂ -päästöt, Thermo Top Evo					
		Thermo Top			
		Bensiini		Diesel	
Lämmitin		Evo 4 B	Evo 5 B	Evo 4 D	Evo 5 D
Maksimiteho	kW	4	5	4	5
Polttoaine		Bensiini EN 228 DIN 51625		Diesel EN 590	
Tehollinen lämpöarvo	MJ/kg	41,7		43,0	
CO ₂ -päästökerroin	t/TJ	68,6		65,5	
	kg/MJ	0,0686		0,0655	
CO ₂ -päästöt per poltettu kilo	kg/kg	2,86062		2,8165	
Kulutus maksimiteholla (+ - 10 %)	l/h	0,56	0,705	0,495	0,62
Laskettu kulutus tilastokeskuksen polttoaineen tiheydellä	kg/h	0,42	0,52875	0,41085	0,5146
CO ₂ -päästöt lämmittimen kulutuksen mukaan	kg/h	1,20146	1,512553	1,157159	1,449371
	g/h	1201,46	1512,553	1157,159	1449,371
"NEDC"					
Ajosykli		20,00			
Aika	min	20,00			
	h	0,33			
CO ₂ -päästöt syklin ajalle	g	400,49	504,18	385,72	483,12
Matka	km	11,00			
CO ₂ -päästöt kilometrille	g/km	36,41	45,83	35,07	43,92
"WLTP"					
Ajosykli		30,00			
Aika	min	30,00			
	h	0,50			
CO ₂ -päästöt syklin ajalle	g	600,73	756,28	578,58	724,69
Matka	km	23,25			
CO ₂ -päästöt kilometrille	g/km	25,84	32,53	24,89	31,17
Tasainen nopeus tunnin ajan					
Nopeus 40 km/h	g/km	30,04	37,81	28,93	36,23
Nopeus 60 km/h	g/km	20,02	25,21	19,29	24,16
Nopeus 80 km/h	g/km	15,02	18,91	14,46	18,12
Nopeus 100 km/h	g/km	12,01	15,13	11,57	14,49

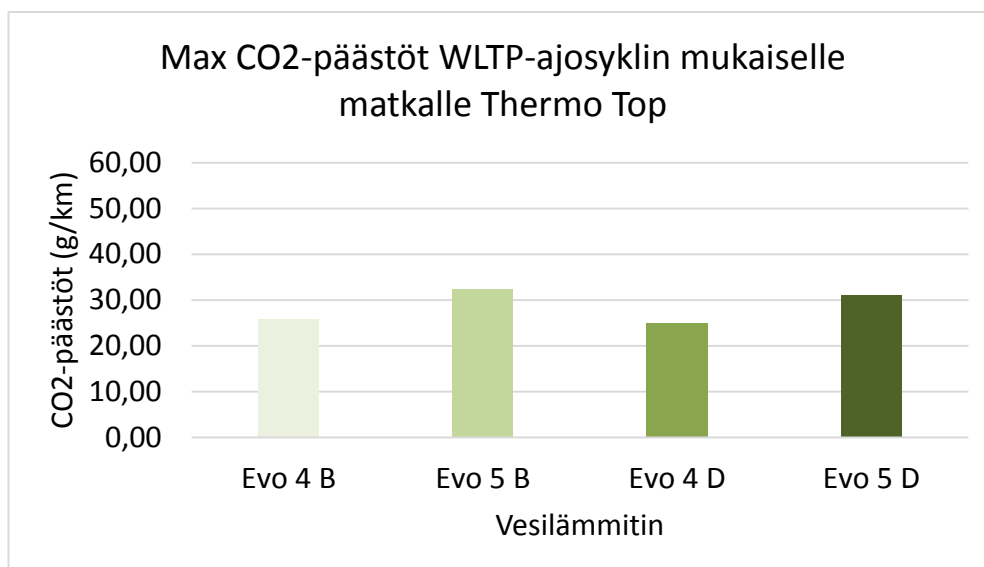
Vertailun helpottamiseksi taulukon 12 päästöjä on esitetty graafisesti kuvioissa 51 - 54. Kuviossa 51 on lisäksi esitetty lämmittimien täydellä teholla syntyvät CO₂-päästöt yhteen polttonestekiloon verrattuna.



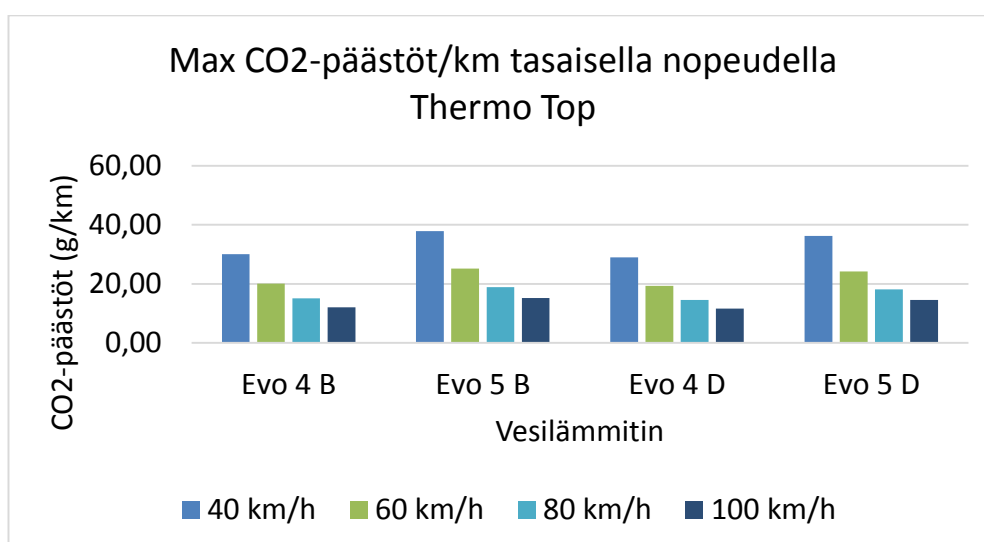
KUVIO 51. Thermo Top Evo-vesilämmittimien maksimi CO₂-päästöt verrattuna kiloon bensiiniä ja kiloon dieseliä



KUVIO 52. Thermo Top Evo-vesilämmittimien päästöt NEDC-syklin mukaiselle matkalle



KUVIO 53. Thermo Top Evo-vesilämmittimien päästöt WLTP-syklin mukaiselle matkalle



KUVIO 54. Thermo Top Evo-vesilämmittimien päästöt kilometriä kohden tasaisella nopeudella

5.6.3 Ilmalämmittimien CO₂-päästöt

Aivan kuten hyötysuhteiden laskennassa, myös päästöjen laskennassa on ilmalämmittimissä huomioitava boost-toimintatapa. Ilmalämmittimien teknisissä tiedoissa ilmoitetut kulutukset kiloina on myös jätettävä huomioimatta, kuten aluvuossa 5.5.3. Näin taataan vertailukelpoiset tulokset. Air Top Evo-lämmittimien päästöt boost-teholla sekä nimellisteholla on esitetty taulukoissa 13 ja 14.

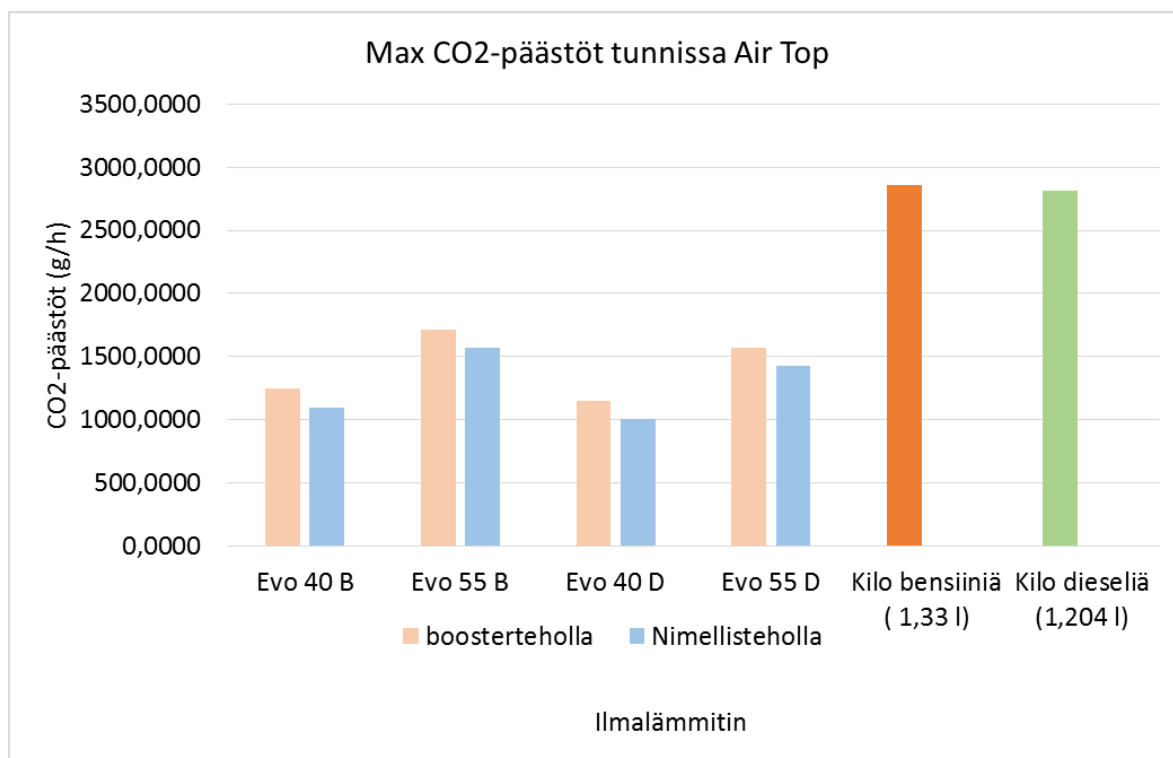
TAULUKKO 13. Air Top Evo-lämmittimien CO₂-päästöt boosterteholla

CO ₂ -päästöt, Air Top Evo Boosterteholla					
		Air Top			
		Bensiini		Diesel	
		Evo 40 B	Evo 55 B	Evo 40 D	Evo 55 D
Boosterteho	kW	4	5,5	4	5,5
Polttoaine		Bensiini EN 228		Diesel EN 590 EN 14214	
Tehollinen lämpöarvo	MJ/kg	41,7		43,0	
CO ₂ -päästökerroin	t/TJ	68,6		65,5	
	kg/MJ	0,0686		0,0655	
CO ₂ -päästöt per poltettu kilo	kg/kg	2,86062		2,8165	
Kulutus Boosterteholla (+ - 10 %)	l/h	0,58	0,8	0,49	0,67
<i>(Ilmoitettu kulutus boosterteholla)</i>	<i>(kg/h)</i>	<i>0,43</i>	<i>0,59</i>	<i>0,41</i>	<i>0,56</i>
Laskettu kulutus tilastokeskuksen polttoaineen tiheydellä	kg/h	0,435	0,60	0,4067	0,5561
CO ₂ -päästöt tunnissa lämmittimen kulutuksen mukaan	kg/h	1,2444	1,7164	1,1455	1,5663
	g/h	1244,37	1716,37	1145,47	1566,26
"NEDC"					
Ajosykli		20,00			
Aika	min	20,00			
	h	0,33			
CO ₂ -päästöt syklin ajalle	g	410,02	562,59	384,92	525,75
Matka	km	11,00			
CO ₂ -päästöt kilometrille	g/km	37,71	52,01	34,71	47,46
"WLTP"					
Ajosykli		30,00			
Aika	min	30,00			
	h	0,50			
CO ₂ -päästöt syklin ajalle	g	615,03	843,88	577,38	788,62
Matka	km	23,25			
CO ₂ -päästöt kilometrille	g/km	26,76	36,91	24,63	33,68
Tasainen nopeus tunnin ajan					
40 km/h	g/km	30,75	42,19	28,87	39,43
60 km/h	g/km	20,50	28,13	19,25	26,29
80 km/h	g/km	15,38	21,10	14,43	19,72
100 km/h	g/km	12,30	16,88	11,55	15,77

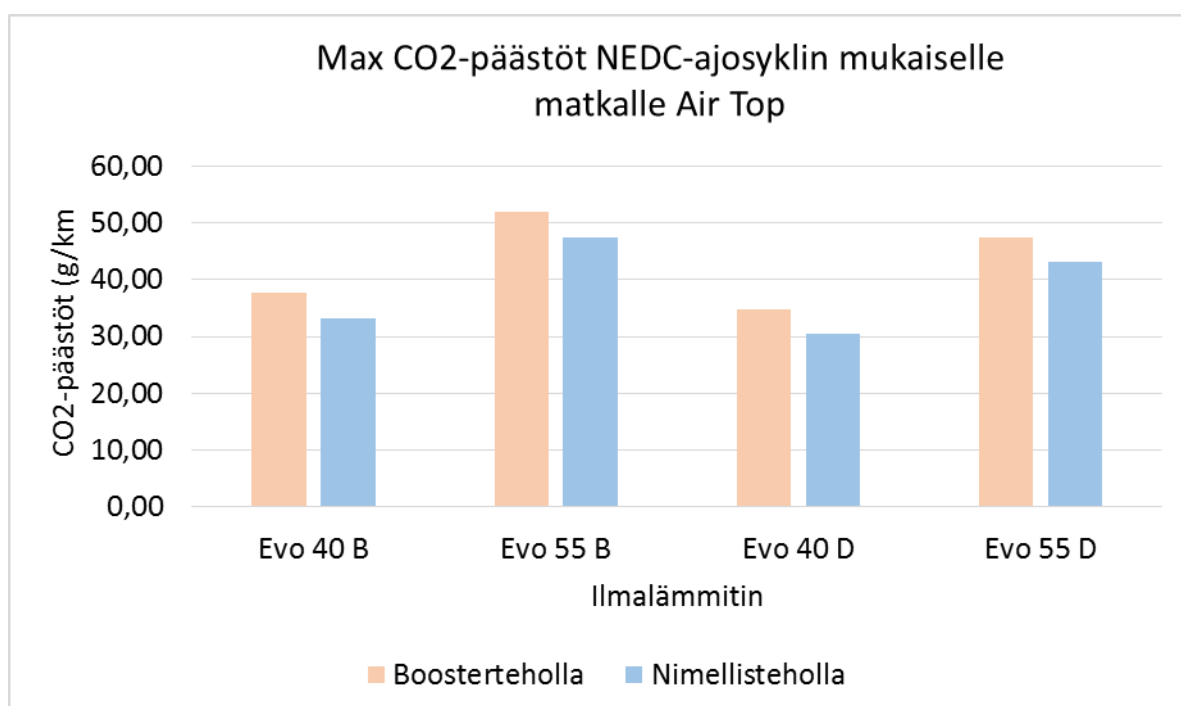
TAULUKKO 14. Air Top Evo-lämmittimien CO₂-päästöt nimellisteholla

CO ₂ -päästöt, Air Top Evo Nimellisteholla					
		Bensiini		Diesel	
		Evo 40 B	Evo 55 B	Evo 40 D	Evo 55 D
Nimellisteho	kW	3,5	5	3,5	5
Polttoaine		Bensiini EN 228		Diesel EN 590 EN 14214	
Tehollinen lämpöarvo	MJ/kg	41,7		43,0	
CO ₂ -päästökerroin	t/TJ	68,6		65,5	
	kg/MJ	0,0686		0,0655	
CO ₂ -päästöt per poltettu kilo	kg/kg	2,86062		2,8165	
Kulutus nimellisteholla (+ - 10 %)	l/h	0,51	0,73	0,43	0,61
<i>(Ilmoitettu kulutus nimellisteholla)</i>	<i>(kg/h)</i>	<i>0,38</i>	<i>0,54</i>	<i>0,36</i>	<i>0,51</i>
Laskettu kulutus tilastokeskuksen polttoaineen tiheydellä	kg/h	0,3825	0,5475	0,3569	0,5063
CO ₂ -päästöt tunnissa	kg/h	1,0941	1,5661	1,0052	1,4259
	g/h	1094,19	1566,19	1005,21	1425,99
"NEDC"					
Ajosykli		20,00			
Aika	min	20,00			
	h	0,33			
CO ₂ -päästöt syklin ajalle	g	364,73	522,06	335,07	475,33
Matka	km	11,00			
CO ₂ -päästöt kilometrille	g/km	33,16	47,46	30,46	43,21
"WLTP"					
Ajosykli		30,00			
Aika	min	30,00			
	h	0,50			
CO ₂ -päästöt syklin ajalle	g	547,09	783,09	502,60	713,00
Matka	km	23,25			
CO ₂ -päästöt kilometrille	g/km	23,53	33,68	21,62	30,67
Tasainen nopeus tunnin ajan					
40 km/h	g/km	27,35	39,15	25,13	35,65
60 km/h	g/km	18,24	26,10	16,75	23,77
80 km/h	g/km	13,68	19,58	12,57	17,82
100 km/h	g/km	10,94	15,66	10,05	14,26

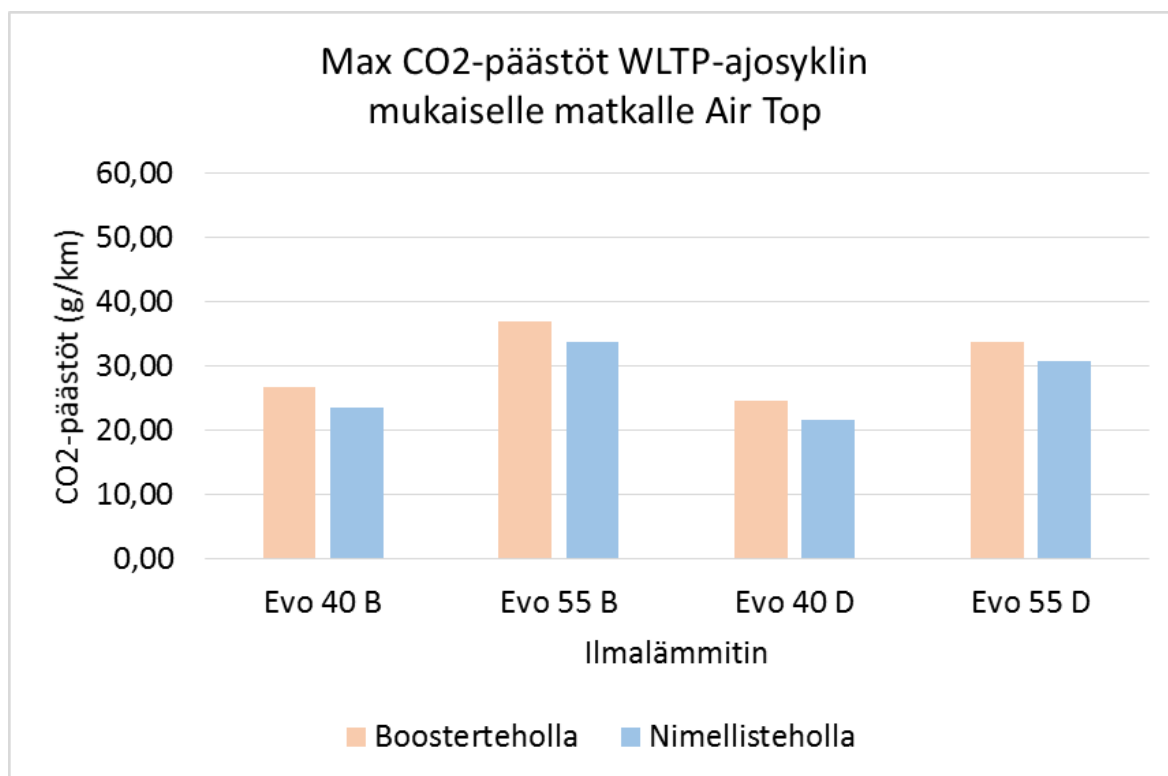
Taulukkojen 13 ja 14 keskeisimpiä arvoja on havainnollistettu kuvioissa 55 - 59. Kuviossa 55 on esitetty vertailun vuoksi myös yhden polttonestekilon palamisessa vapautuvat CO₂-päästöt.



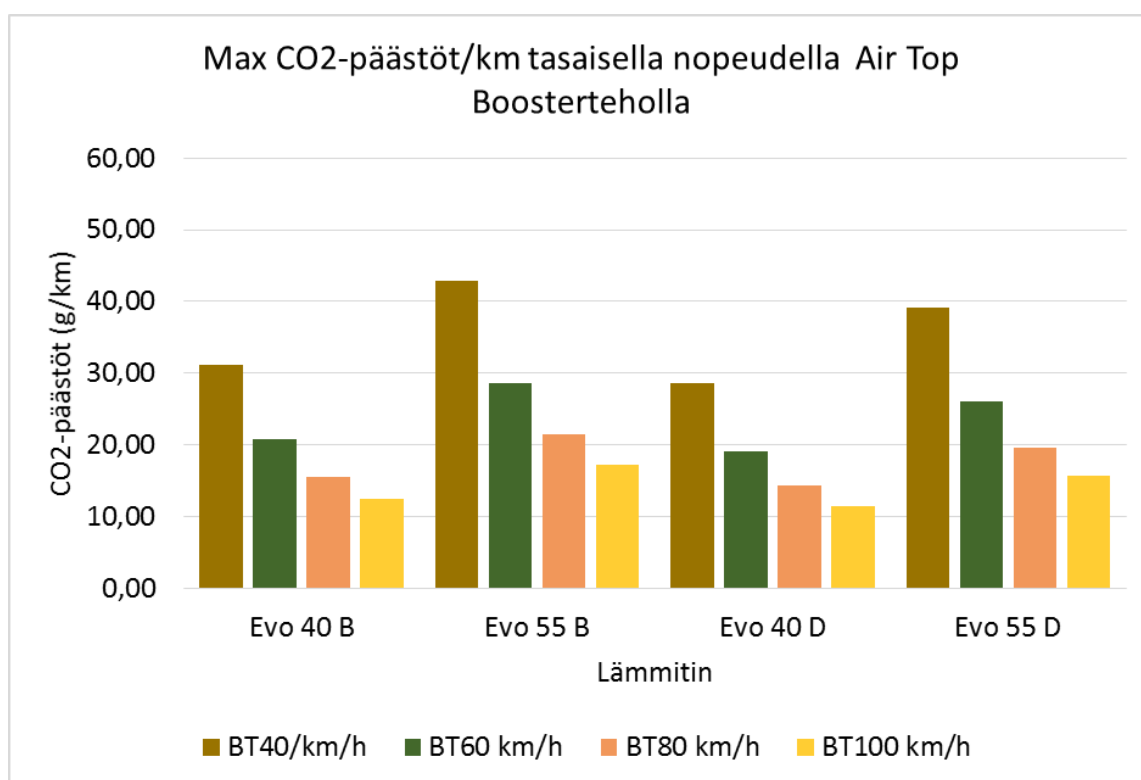
KUVIO 55. Air Top Evo-lämmittimien hiilidioksidipäästöt tunnissa verrattuna yhteen kiloon polttoainetta



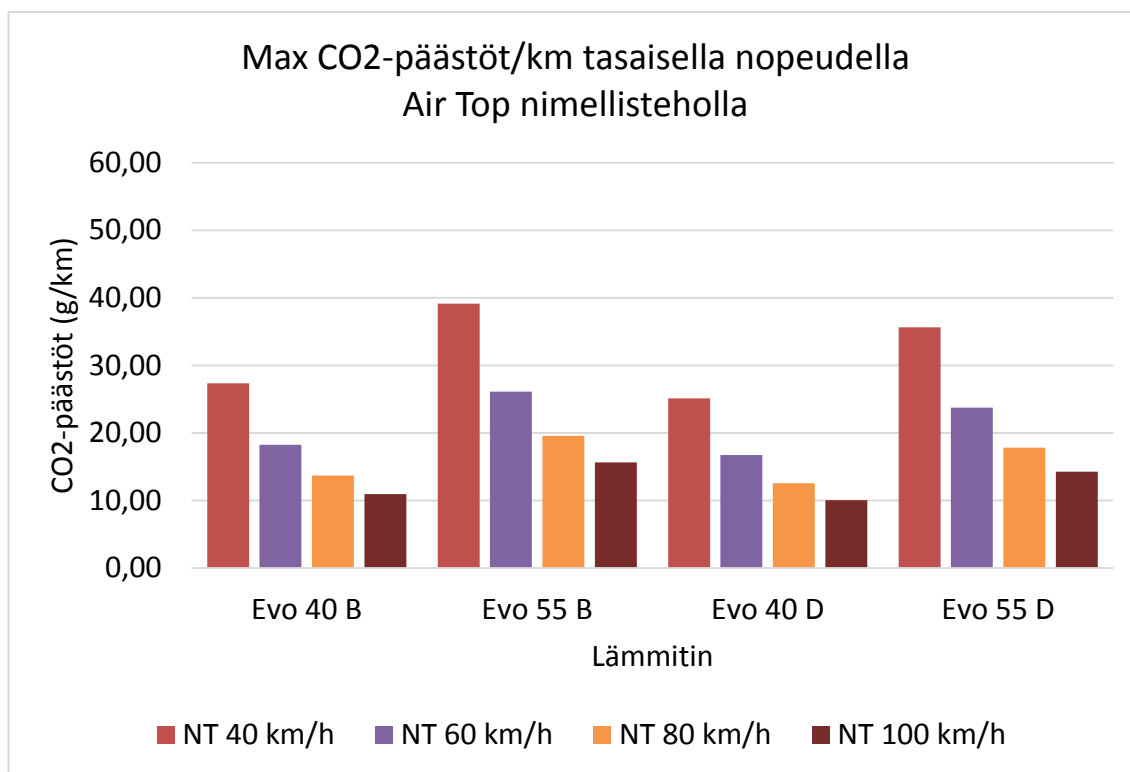
KUVIO 56. Air Top Evo-ilmalämmittimien päästöt NEDC-syklin mukaiselle matkalle



KUVIO 57. Air Top Evo-ilmalämmittimien päästöt WLTP-syklin mukaiselle matkalle



KUVIO 58. Air Top Evo-ilmalämmittimien päästöt boosterteholla kilometriä kohden tasaisella nopeudella



KUVIO 59. Air Top Evo-ilmalämmittimien päästöt nimellisteholla kilometriä kohden tasaisella nopeudella

5.6.4 Kilpailijan etanolivesilämmittimen päästöt

Etanolin käyttö polttoaineena tuo Apfelbeckin ja Barthelin (2013) mukaan bensiini- ja dieselkäyttöisiin lisälämmittimiin verrattuna uuden ongelman: CO-päästöt ovat lämmitin käydessä 120 ppm taulukon 15 mukaisesti.

TAULUKKO 15. Bioetanolilämmittimen päästöarvot lämmitin käydessä toimintalämpötilassaan ilman katalyysaattoria ja sen kanssa (Apfelbeck & Barthel 2013)

	Ethanol Heater without Catalyst	Ethanol Heater with Catalyst
CO (ppm)	120	0
HC (ppm)	0	0
NO _x (ppm)	20	20
Soot (Bacharach)	0	0

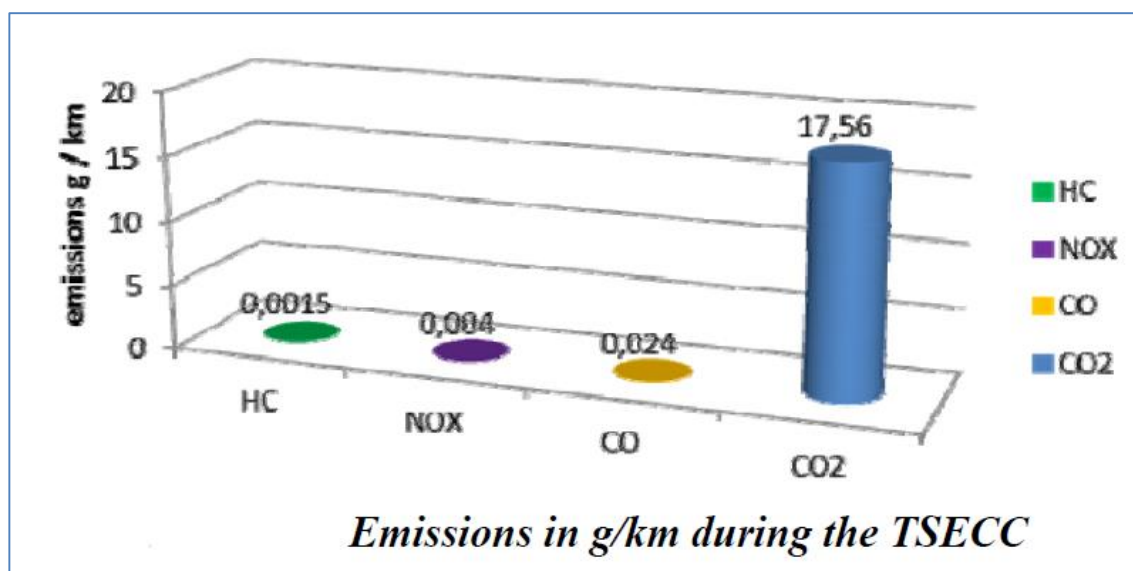
Vaikka lämmitin päästöt ovat pienemmät, kuin mitä lakivaatimukset vaativat, ovat häkäpäästöt kuitenkin valmistajan mielestä ongelma, varsinkin kun diesellämmittimissä

ei synny näitä päästöjä lainkaan tasaisen käytön aikana. Oletettavasti myös bensiinilämmittimien päästöt ovat samanlaiset kuin diesellämmittimien (Puolitaival 2018). Ratkaisuna Eberspächer kehitti bioetanolikäyttöä varten pienen katalysaattorin, joka asennetaan mahdollisimman lähelle lämmitintä. Katalysaattori puhdistaa kaikki lämmittimessä syntyvät CO-päästöt taulukon 15 mukaisesti, kunhan se on lämmennyt ensin toimintalämpötilaansa. Myös sammumisvaiheessa syntyvät CO- ja HC-päästöt pystytään puhdistamaan katalysaattorilla, mutta sillä ei pystytä vaikuttamaan lainkaan typen oksidipäästöihin. (Apfelbeck & Barthel 2013). On epäselvää, ovatko Webaston ajoneuvoteollisuudelle tarjoaman etanolilämmittimen päästöt samankaltaiset ja käytetäänkö lämmittimessä katalysaattoria, kuten Eberspächerin sovelluksessa. Katalysaattori on esitetty kuviossa 60.



KUVIO 60. Bioetanolilämmittimen katalysaattori (Apfelbeck & Barthel 2013, muokattu)

Apfelbeck ja Barthelin (2013) mukaan bioetanolilämmittimen päästöjä ja sähköauton ajosädetä on tutkittu sähköautolle kehitetyn TÜV Süd-ajosyklin (TSECC) mukaiselle matkalle. Sykli on yhdistelmä sähköautoille määritellyn ajoprofiilin mukaista maantie-, moottoritie- ja kaupunkiajtoa. Testisykli ajettiin eri lämmitystapojen vertailemiseksi -7 °C lämpötilassa. Lisälämmittimen hiilidioksidipäästöt olivat katalysaattoria käyttämällä keskiarvoisesti 17,56 g/km kuvion 61 mukaisesti. Muut saastepäästöt olivat pieniä, ja aiheutuivat käynnistysvaiheesta, aivan kuten alaluvun 5.6 mukaisesti diesellämmittimissäkin. Tutkijoiden mukaan sammutusvaiheessa CO- ja HC-päästöjä ei syntynyt, koska katalysaattori oli lämmennyt toimintalämpötilaansa, ja se pystyi käsittelemään nämä päästöt.



KUVIO 61. Bioetanolilämmittimen pakokaasupäästöt g/km TSECC-ajosyklille (Apfelbeck & Barthel 2013, muokattu)

Kuviossa 61 esitetystä hiilidioksidin keskiarvoistetusta 17,56 g/km päästöarvosta lasketuna 60 km pituisen syklin aikana etanolilämmittimen tuotti 1053,6 g hiilidioksidia. Ajosyklin kesto oli yksi tunti. Tutkimuksessa kerrotaan, että lämmittimen käytöllä voidaan säästää akustosta olevaa sähköä 4,1 kWh syklin aikana (Apfelbeck & Barthel 2013). Lämmittimen ei siis toiminut suurimmalla mahdollisella teholla koko 1 h pituisen syklin ajan, koska lämmittimen maksimitehoksi on ilmoitettu taulukon 15 mukaisesti 4,3 kW. Koska lämmitin ei käynyt täydellä teholla, ei se silloin kuluttanut polttoainettaakaan täyden tehon kulutuksella 0,78 l/h. Päästöarvot eivät siis olleet ”pahimmat” mahdolliset, eikä niitä voida siksi verrata suoraan Webasto-lämmittimille laskettuihin hiilidioksidiarvoihin. Muiden päästöjen mittaustulokset ovat silti hyödylliset saastepäästöjen suuruusluokkaa arvioitaessa.

5.7 Eri lisälämmittimien kaikkien päästöjen vertailu

Diesel- tai bensiinilämmittimille ei löytynyt julkisista lähteistä muita päästömittausten tuloksia, kuin Miklánekin ja Gotfrýdin tutkimuksen normalisoidut mittausravot alaluvun 5.3 mukaisesti. Apfelbeckin ja Barthelin tutkimuksessa on kuitenkin saatavilla etanolilämmittimen päästömittauksen tuloksia. Jos oletetaan, että päästöjen muodostuminen on CO-päästöjä lukuunottamatta vastaavaa tai lähes vastaavaa niin etanoli-, bensiini-, kuin diesellämmittimessä, niin lisälämmittimien päästöjä voidaan arvioida etanolilämmittimen

päästöjen kautta yleisesti. Vertailussa on muistettava, että polttoaineiden ominaisuudet päästöjen osalta voivat olla erilaiset lämmitinkäytössä, ja esimerkiksi typen oksidien muodostuminen voi olla erisuuruista eri polttoaineilla. Raskaan kaluston diesellämmittimen normalisoitujen päästöjen vertailu Apfelbeckin ja Barthelin etanolilämmittimen tuloksiin osoittaa kuitenkin, että CO₂, HC- ja NO_x-päästöjen muodostuminen on samankaltaista erilaisista polttoaineista huolimatta.

Vaikka eri polttoaineiden välillä ei välttämättä voikaan tehdä yleistyksiä, on lisälämmittimen NO_x-päästöjen suuruutta hyvä arvioida kuvion 61 etanolilämmittimen tuloksista. Vaikka etanolilämmittimessä oli katalysaattori, se ei vaikuttanut NO_x-päästöihin millään tavalla. Typen oksidipäästöjen 0,004 g/km suuruutta voidaan verrata paljon julkisuudessa olleeseen Volkswagen AG:n päästöskandaaliin liittyviin dieselautoihin. Peltovirran (2016, 28) mukaan kyseisissä autoissa typen oksidipäästöt olivat erästä autoa testattaessa 15 – 35 kertaa suuremmat, kuin mitä sallittu raja on laboratoriotesteissä Yhdysvalloissa. Pohjois-Amerikkalaisen EPA:n Tier 2 Bin 5-standardin mukaisesti typen oksideja saisi tulla laboratorio-olosuhteissa 43 mg/km ajosyklille. Tämä tarkoittaa grammoina kilometrille 0,043 g/km, eli yli 10 kertaa suurempaa määrää kuin mitä etanolilämmittimen päästöt olivat Apfelbeckin ja Barthelin (2013) tutkimuksessa -7 °C lämpötilassa. EU:ssa vastaava raja uusimmalle Euro 6-päästöluokalle on 0,08 g/km, eli 20-kertaiset etanolilämmittimen päästöihin nähden. (Peltovirta 2016, 28, 32). Lisälämmittimien hyötysuhde on yleisesti ottaen hyvä, noin 80 % luokkaa. Tämä tarkoittaa sitä, että polttoainetta ei kulu vastaavalla tavalla hukkaan, eikä ”turhia” päästöjä synny vastaavalla tavalla kuin mitä polttomoottoriautojen liikuttamisessa.

Amerikkalaiset ja Eurooppalaiset tesitykkit Tier 2 Bin 5 ja NEDC eivät ole kuitenkaan toistensa kanssa vertailukelpoisia, koska ne mitataan eri olosuhteissa ja eri testausmenetelmillä. (Peltovirta 2016, 32). Tutkimuksessa esitettyä TSECC-sykliä ei voida siis suoraan verrata näihin ajosykleihin jo pelkästään matalan lämpötilan takia. Todellisessa ajossa polttomoottoriautojen NO_x-päästöt ovat lisäksi yleensä aina laboratoriotestejä suuremmat ilman päästöhuijausohjelmistoakin, ja näiden laboratoriotestien raja-arvojen 1,5-kertainen ylittäminen tulee olemaan lähitulevaisuudessa sallittua paremmin todellista ajamista vastaavassa, tiellä tapahtuvassa testauksessa (Turkula 2017). Etanolilämmittimen päästömittauksen tuloksista voidaan siis sanoa, että vaikka NO_x-päästöt ovat käytännössä lisälämmittimen ainoa ongelmallinen päästökomponentti, ne ovat silti pieniä.

Etanolilämmitin vaikuttaisi tuottavan paikallisesti vähemmän hiilidioksidia, kuin 4 kW tehoiset Webaston bensiini- ja ilmalämmittimet. E85-polttoaineen CO₂-kerrointa ja päästöjen mittaustapaa ei ole kuitenkaan ilmoitettu Apfelbeckin ja Barthelin tutkimuksessa, eikä tilastokeskus ole myöskään ilmoittanut E85:n päästökerrointa polttoaineluokituksessa. Eri lämmittimien ja polttoaineiden päästöjen vertailu tulisikin siis tehdä vastaavissa laboratorio-olosuhteissa ja samoilla mittalaitteilla kuin Apfelbeckin ja Barthelin tutkimuksessa.

Etanoli-, bensiini- ja diesellämmittimien teknisiä tietoja verratessa on kuitenkin selvää, että diesellämmitin kuluttaa litroina tunnissa näistä kolmesta vaihtoehdosta vähiten ja etanolilämmitin eniten polttoainetta. Ympäristökertoimia verrattaessa tulisi selvittää elinkaaren kannalta puhtain polttoaine, sillä myös perinteisiä fossiilisia polttoaineita on mahdollista korvata uusiutuvilla (tai lähes uusiutuvilla) polttoaineilla. Yksi esimerkki tällaisesta on enimmäkseen jätteistä ja tähteistä valmistettu Nesteen MY-diesel, jonka hiilidioksidipäästöt koko elinkaaren ajalle ovat laskentatavasta riippuen 40 ... 90 % pienemmät fossiiliseen polttoaineeseen verrattuna (Sitra n.d.). Tämän vuoksi ympäristöystävälliseksi ajateltu etanoli ei ole ainoa polttoainevaihtoehto ekologiselle lisälämmittämiselle. Vaikka Webasto ei toistaiseksi toimitakaan jälkimarkkinoille etanolikäyttöistä lämmitintä, esimerkiksi diesellämmittimessä voitaisiin käyttää uusiutuvaa Neste MY-dieseliä. Lämmityksessä voitaisiin silloin saavuttaa samankaltainen ympäristöystävällisyys kuin bioetanolia käytettäessä.

MY-dieselin käyttöä puoltaa ympäristötavoitteiden täyttymisen lisäksi dieselpolttoaineen etanolia korkeampi lämpöarvo, ja sitä kautta suurempi lämmittimen teho. Myös polttoainetta kuluisi litroissa vähemmän. Kahan kokemusten mukaan MY-diesel toimii erinomaisesti Evo-diesellämmittimissä. Testeissä tehtyjen havaintojen perusteella se palaa lämmityskäytössä puhtaammin, eivätkä lämmittimen pakokaasut haise oikeastaan lainkaan, toisin kuin fossiilisella dieselillä poltettaessa. Sitä kuluu litramääräisesti yhtä paljon kuin tavallista dieseliä, ja eräässä tapauksessa jo lievästi karstoittunut poltin puhdistui täysin karstasta vaihtamalla fossiilinen polttoaine MY-dieseliin. (Puolitaival 2018).

5.8 Vertailu sähköntuotantoon ja yhteenveto päästöistä

Apfelbeckin ja Barthelin (2013) mukaan etanolilämmitintä vastaavan 4,1 kWh lämmitysenergian saavuttamiseksi auton oma lämmitin vaatisi 4,92 kWh sähköä. Vaikka PTC-lämmitin muuttaakin sähköenergian lähes 100 % hyötysuhteella lämmöksi, on vaadittu sähköenergian määrä suurempi kuin 4,1 kWh, koska sähkölämmityksen tarpeen päälle on laskettu myös akun lataukseen ja purkamiseen liittyvät häviöt. Vuonna 2013 Saksassa sähkön tuotannossa syntyi jokaista tuotettua kilowattituntia kohden keskimäärin 563 g hiilidioksidia. Tämän 4,92 kWh tuotannossa syntyi siis Saksassa vuonna 2013 yhteensä 2314 g hiilidioksidia. Tutkijat päättelivät tästä, että polttoainekäyttöinen lämmitin tuottaa vain 45,5 % hiilidioksidia sähkölämmitykseen verrattuna. Tutkijat totesivat vielä, että polttoaineen elinkaarta ja tuotannossa polttoaineeseen ilmakehästä sitoutunutta hiilidioksidia ei otettu huomioon laskelmissa, jolloin vertailun ero olisi ollut vieläkin suurempi etanolilämmittimen eduksi. Apfelbeck & Barthel 2013).

Sähkön tuottaminen Suomessa on Saksaa puhtaampaa. Motivan (CO₂-päästökertoimet 2017) mukaan Suomen sähköntuotannon CO₂-päästökerroin viiden vuoden liukuvana keskiarvona on 181 kg/MWh. Tämä tekee grammoina kilowattitunnissa 181 g/kWh. Näin keskimääräisellä suomalaisella sähköntuotannolla 4,92 kWh tuottamisessa syntyisi 890,52 grammaa hiilidioksidia.

Apfelbeckin ja Barthelin laskelmissa pitää huomioida se, että nykyisten sähköautojen akustojen lataus- ja purkaushäviöt voivat olla pienemmät kuin mitä tutkimuksessa on laskettu. Tämä tarkoittaa sähkölämmitykselle entisestään pienempiä päästöjä. Diesel-, bensiini tai etanolikäyttöinen lämmitin tuottaa siis Suomessa paikallisesti enemmän hiilidioksidia kuin pelkällä sähköllä ajaminen, kun polttoaineen ja sähköntuotannon elinkaarta ei oteta sen tarkemmin huomioon. Sähkö voi olla kuluttajakäytössä esimerkiksi hiilineutraalisti vaikkapa omalla aurinkopaneelilla tuotettua, jolloin sähkölämmittämisen CO₂-päästöt olisivat 0 g/kWh.

Eri energiamuotojen ympäristöystävällisyyden vertailu ei ole yksinkertaista. Kuten Linjaaho (2018) on todennut, sopivasti laskelmia pyörittämällä energiatehokkuudelle ja päästöille voidaan saada niin sähkö-, kuin öljyalallekin mieleinen lopputulos. Lisälämmittimien asennusta sähköautoihin ei tämän vuoksi välttämättä kannattaisi promotoida sillä,

että lisälämmittäminen olisi puhtaampi vaihtoehto kuin pelkällä sähköllä ajaminen. Se saatettaisiin kokea joidenkin sähköautoilijoiden mielestä öljyalan kampanjaksi sähkön tuotantoa ja sähköautoja vastaan. Etenkin ideologisesti ympäristötietoiset sähköautoilijat eivät välttämättä sisäistäisi elinkaariajattelua ja polttoaineiden käyttöä sillä oletuksella, että kyseiset autoilijat ovat vaihtaneet liikkumisvälineensä sähköautoon sen takia, ettei polttoaineiden kanssa tarvitsisi olla tekemisissä.

Lisälämmittimet tuottavat siis pakokaasupäästöjä käydessään, mikä voi muodostua joillekin sähköautoilijoille ylitsepääsemättömäksi kynnykseksi. Pakokaasupäästöjen myötä lämmittimet voidaan mieltää polttomoottoriautoihin ja niiden tuottamiin haitallisiin päästöihin. Vertailu ei ole kuitenkaan niin yksioikoista, sillä lämmittimet tuottavat käytöstä riippuen perinteisiin autoihin verrattuna vain murto-osan hiilidioksidia kilometrille, koska kulutetut polttoainemäärät ovat hyvin pieniä. Haitallisia päästöjäkään ei juuri synny lämmittimen käytössä. Ainoa jatkuva, ongelmalliseksi laskettava päästökomponentti on typen oksidit, mutta NO_x-päästötkin jäävät polttomoottoriautoihin verrattuna hyvin pieniksi. Lämmitinasennuksen moraalista oikeutusta sähköautoissa tulisikin ajatella siitä saatavien hyötyjen kannalta, ja markkinoinnissa tulisi korostaa lämmittimen vähäpäästöisyyttä, kun käytetään uusiutuvia polttoaineita.

Mikäli sähköautoon asennettaisiin polttoainekäyttöinen lisälämmitin jonka polttoaineena käytettäisiin vastuullista polttoainetta, saavutettaisiin kaksi asiaa. Ensinnäkin, sähköauton ajosäde pitenisi talvioloissa, joka voi olla monelle sähköautoa harkitsevalle todella tärkeä mukavuutta ja käytännöllisyyttä lisäävä seikka. Toiseksi, lämmittämisen päästöt voivat olla koko elinkaaren ajalle huomattavasti alhaisemmat kuin mitä edellä esitetyt laskelmat antavat ymmärtää. Esimerkiksi jätteistä ja tähteistä pääosin valmistettua Neste MY-dieseliä käytettäessä koko elinkaaren aikaiset hiilidioksidipäästöt ovat 40 ... 90 % alhaisemmat kuin fossiiliselle dieselille (Sitra, n.d.). Elinkaariajattelu on Suomen YK-liiton (n.d.) mukaan osa vastuullista kuluttamista.

Sähköautot yleistyvät jatkuvasti, kuten myyntitilastot osoittavat. Toisaalta, niiden osuus markkinoista ei ole vielä kovin suuri, koska valtaosa kuluttajista on varovaisia ostopäätöksissään. Polttoainekäyttöinen lisälämmitin voisikin päästöistään huolimatta edesauttaa sähköautojen yleistymistä Suomessa. Polttoainekäyttöisten lämmittimien integroimiselle sähköautoihin on olemassa muitakin hyviä perusteita, jotka on esitelty luvussa 6.

6 AJOSÄTEEN PITENEMINEN JA KUSTANNUKSET

Koska lämmityksen tarve lisääntyy kylmässä, sähköauton lämmitysjärjestelmä kuluttaa talvella enemmän sähköenergiaa. Tämä sähköenergian määrä on niin suuri, että ajosäde voi olla talviajossa puolet kesäajan ajosäteestä. (Virtanen 2014). Siksi lisälämmityksen vaikutusta ajosäteeseen, järjestelmän muita hyötyjä ja sen kustannuksia on hyvä arvioida.

6.1 Lisälämmityksen vaikutus ajosäteeseen

Pelkkään PTC-lämmitykseen verrattuna polttoainekäyttöisen lämmittimen integrointi kasvattaisi sähköauton ajosädettä melko paljon. Apfelbeckin ja Barthelin tutkimuksen (2013) mukaan Volvo C30 electric-sähköautoon integroitu etanolilämmitin toi todellista ajoa vastaavassa laboratoriotestissä 31 % lisäyksen ajosäteeseen $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa. On helppo kuvitella, että jos lämpötila laskee alemmaksi, ajosäde kasvaisi TSECC-syklillä entisestään.

Toisena esimerkkinä Virtasen (2014) mukaan pohjoismaissa on testattu sähköauton ajosäteitä pakkasessa lämmityksen kanssa ja ilman. Vuosimallin 2014 Nissan Leafin käytettävissä oleva todellinen ajosäde on 150 km kesäolosuhteissa. Testiautossa ei ollut ilmeisesti lisävarusteena saatavaa ilmalämpöpumppua. Kun ympäristön lämpötila on $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja auton sisätilojen lämmitys ei ole päällä, auton todellinen ajosäde on 121 kilometriä. Mutta kun sisätilojen tavoitelämpötilaksi asetetaan $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja auton oma lämmitys kytketään päälle, ajosäde tippuu 73 kilometriin. Ajonopeuden nosto voi vaikuttaa myös suuresti ajosäteeseen, esimerkiksi standardinmukaisen ajosyklin sijaan tasaisen 100 km/h nopeuden ajaminen lämmitys päällä tarkoittaa 58 kilometrin ajosädettä. Kaikissa olosuhteissa hitaammin ajaminen ei kuitenkaan tuo lisäystä sähköauton ajosäteeseen, koska sisätilojen lämmittämiseen käytetään enemmän aikaa. (Virtanen 2014).

Koska keskikokoisen henkilöauton sisätilojen tarvittava lämpötehon tarve on Apfelbeckin ja Barthelin (2013) mukaan $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ pakkasilla 4 ... 5 kW luokkaa, kaikki lämpö, tai suuri osa tarvittavasta lämmöstä, voitaisiin tuottaa yhdellä Webasto-lämmittimellä. Webasto-laitteiden sähkönkulutus on luvun 4 mukaisesti niin pientä, että sen vaikutus

ajosäteeseen voidaan käytännössä jättää huomioitta. Yllä mainittu 150 km ajosäde kesällä, 121 km ilman lämmitystä talvella ja 73 km lämmitys päällä antaa hyvän perspektiivin. Lämmityksen käyttö syö Leafin ajosädetä talvella näiden testien perusteella 48 kilometriä (Virtanen 2014). Tämä tarkoittaisi lähes 40 % lisäystä ajosäteeseen.

Erilaiset lämpöpumput säästävät paljon sähköenergiaa PTC-lämmitykseen verrattuna. PTC-lämmitys kuluttaa enemmän sähköä kuin lämpöpumppu, niin kauan kuin pumpun COP-kerroin on suurempaa kuin 1. On muistettava, että lämpötilan laskiessa lämpöpumpun toiminta on suhteessa huonompaa tarvittavan lämmitysenergian määrään verrattuna. Vaikka ympäristön lämpötila olisi vakio, COP-kerroin huononee myös silloin, jos sisätilojen haluttua lämpötilaa nostetaan, eli kun luovutus- ja keruulämpötilojen ero kasvaa. Jossakin lämpötilassa lämpöpumppu ei kykene enää yksin tuottamaan riittävästi lämmitystehoa sisätiloihin, vaikka pumpun lämpökerroin olisikin suurempaa kuin 1. Tällöin lämpöpumpun lisäksi on käytettävä PTC-vastusta. Ajosäde on talviolosuhteissa lämpöpumpullisissa sähköautoissa suurempi kuin pelkän PTC-lämmityksen autoissa, mutta sisätilojen lämmitykseen käytetään joka tapauksessa sähköä, joka on ajosäteestä pois.

Autokäytössä olevien, ja etenkin hukkalämpöä keräävien lämpöpumppujen toiminnasta olisi mielenkiintoista saada lisätietoa, jotta Webaston vaikutusta ajosäteeseen voitaisiin analysoida tarkemmin. Toisin kuin lämpöpumpuissa, polttoainekäyttöisten lisälämmittimien tehon voidaan ajatella olevan sama, tai lähes sama ympäristön lämpötilasta riippumatta. Webasto-lämmittimellä voitaisiin siis parantaa myös lämpöpumpulla varustettujen autojen ajosädetä, etenkin todella kylmillä, yli $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ pakkasilla.

Virtasen (2014) mukaan henkilöautoilla ajetaan tyypillisesti enimmilläänkin vain 50 – 60 kilometrin päivittäisiä matkoja. Vaikka jokainen tässä työssä käsiteltävä täyssähköauto kykenee tähän myös talvella (etenkin lämmitin pois kytkettynä), ajosäteen pidentäminen nykyisestä tasosta voisi olla hyödyllistä sähköautoilun miellyttävyyden lisäämiseksi. Sähköautojen ajosäteet ovat kuitenkin kasvaneet viime vuosina melko paljon, kuten Renault Zoen NEDC-ajosäde 400 km kesäolosuhteissa osoittaa. Renault tosin myöntää markkinoinnissaan melko avoimesti, että todellinen ajosäde on 300 km kesällä ja 200 km talvella. (Renault Suomi Zoe tekniset tiedot 2018). Eri lämpötilojen vaikutusta ajosäteeseen ei tosin kerrota, eikä se toki ole selkeästi määritettävissäkään oleva asia, koska esimer-

kiksi ajonopeus ja sisätilojen lämmitys vaikuttavat ajosäteeseen. Jos polttoainekäyttöisellä lämmittimellä saataisiin esimerkiksi talvella kasvatettua Zoen ilmoitettu 200 km ajosäde 300 kilometriin, tämä olisi hieno asia pidempiä matkoja varten. Asia ei ole kuitenkaan välttämätön kaikille autoilijoille. Siksi lämmitinasennuksen järkevyyttä tulisi olla tarpeen mukaista: lämmitintä ei kannata asentaa esimerkiksi siihen sähköautoon, jonka omistajalla on ongelmaton pääsy lataukseen, ja jolla ei ajeta kuin vain esimerkiksi 20 km päivässä. Kuitenkin ne autoilijat, jotka kokisivat lämmittimen asentamisen hyödylliseksi, voisivat säästää paljon aikaa latausta välttellessään.

Linja-ahon (2018) mukaan sähköauton akun lataus on perinteisen auton tankkaukseen verrattuna hidasta toimintaa. Latauksen kesto riippuu akuston, auton oman sisäisen laturin ja latauspisteen ominaisuuksista. Sähköauton ”tankkaamista” ei kannata verrata polttomoottoriautojen polttoainesäiliön nopeaan täyttöön, koska tämän hetkiset resurssit eivät yksinkertaisesti riittäisi vastaavan, muutaman minuutin täyteen lataamiseen kuluvaan aikaan. Sähköautoilu vaatii käyttäjältä totuttelua siihen, että autoa kannattaisi ladata aina, kun se on pysähdyksissä, jottei energia loppuisi kesken seuraavan matkan teon. Pääosa latauksista suoritetaan yön aikana kotona. (Linja-aho 2018).

Normaalin lataustavan mukainen, esimerkiksi kotona tai työpaikalla tapahtuva lataaminen sähköauton latausasemalla tapahtuu tyypillisesti 3,3 tai 6,6 kW teholla (Plugit Finland, n.d.). Tämä tarkoittaa Fleetcarman (2016) mukaan 16 – 45 kilometrin lisäystä ajosäteeseen tunnissa. Joissakin autoissa voi tosin olla valmius nopeampaankin peruslataamiseen. Esimerkiksi Renault Zoen sisäinen laturi mahdollistaa 22 kW tehoisen latauksen, kunhan latausasema kykenee syöttämään tätä tehoa. Tällöin 40 kWh nimelliskapasiteetin akuston lataus tyhjästä täyteen kestää 2 tuntia ja 40 minuuttia. (Renault Suomi Zoe tekniset tiedot 2018). Myös kennojen kemiassa ja BMS-järjestelmien ominaisuuksissa voi olla eroja, jotka vaikuttavat latauksen keston. Latausaika tyhjästä täyteen riippuu kuitenkin lähinnä lataustehosta ja akuston koosta – suuremman akuston täyteen lataaminen kestää pidempään kuin pienemmän. Toki suuremmalla akustolla saadaan aikaan suurempi ajosäde. (Fleetcarma 2016). Samassa ajassa saadaan kuitenkin kasvatettua yhtä paljon ajosädettä, riippumatta akuston koosta – kunhan pienemmän ja suuremman akuston autot ovat akuston kokoa lukuun ottamatta ominaisuuksiltaan samankaltaiset.

Oma seikkansa on julkisen pikalatauksen käyttäminen, joka mahdollistaa joidenkin sähköautojen akuston lataamisen tyhjästä 80 % varaukseen parhaimmillaan puolessa tunnissa. Kaikissa sähköautoissa, etenkin edullisimmassa, ei kuitenkaan ole pikalatausmahdollisuutta. (Fleetcarma 2016). Joka tapauksessa kun sähköauton akku tyhjenee, on pidempi matkanteko suunniteltava latauspisteiden ehdoilla tai pahimmillaan keskeytettävä latauspisteen löytämiseksi. Sähköautojen rajallinen ajosäde on tällä hetkellä todennäköisesti suurin este hinnan lisäksi sähköauton hankkimiselle.

Sähköautojen toinen yleistymistä heikentävä tekijä latausinfrastruktuuri, joka on tällä hetkellä Suomessa vielä keskeneräisellä tasolla. Pisteitä tosin rakennetaan lisää, mutta niiden yleistymistä hillitsee kysynnän ja tarjonnan laki. Monesti uusiin latauspisteisiin ei haluta tehdä investointeja ennen kuin asiakkailta on sähköautoja, kun taas asiakkaiden ostopäätöstä hankkia sähköauto hillitsee infrastruktuurin puute. (Tekniikan Maailma 2017). Varsinkin ruuhkaisissa sijainneissa on lisäksi helppo kuvitella, että latauspisteet voivat olla varattuja tai joskus epäkunnossa. Lisäksi on muistettava, että kaikilla ei ole yksinkertaisesti mahdollisuuksia ladata autoaan kotona tai työpaikalla, mikä hillitsee sähköauton hankintaa. Polttoainekäyttöisen lämmittimen asentaminen sähköautoon voisi olla siis erityisesti ajosäteen maksimoinnin ja ajansäästön kannalta järkevää.

6.2 Akuston lämmitys

Akuston lämmönhallinta Webasto-lämmittimellä olisi myös teoriassa mahdollista. Akuston kyky vastaanottaa ja luovuttaa virtaa heikkenee kylmässä luvun 3 mukaisesti. Akustoa kannattaisi siksi esilämmittää ennen ajoa esimerkiksi Webaston vesilämmittimen avulla aina silloin, kun autoa ei ole mahdollista ladata ja se on joutunut seisomaan pidemmän ajanjakson kylmässä. Monissa sähköautoissa on McKinsey & Companyn (2017) mukaan oma akuston lämmitys. Jos kyseessä olisi esimerkiksi Tesla Model S-sähköauton nestejäähdytteinen akusto, ei sen esilämmittäminen kylmästä haluttuun + 20 ... + 40 °C lämpötilaan todennäköisesti tapahtuisi auton omalla, luvussa 8 esitetyllä PTC-lämmittimellä aivan hetkessä. Tämä johtuu siitä, että 75 kWh nimelliskapasiteetin akusto on massaltaan 530 kg painava, ja sen voidaan siten olettaa sitovan lämpöä hyvin (EPA 2016, 32). Akuston esilämmitys voi siis kuluttaa paljon sähköenergiaa, jos se otetaan auton omasta akustosta.

Akuston lisälämmittämisestä voi siis olla hyötyä, mutta se tulisi kuitenkin suunnitella erittäin tarkasti. Litium-ionikennot ovat luvun 3 mukaisesti äärimmäisen herkkiä ylikuumenemiselle. Vaikka turvallisuuteen ja järjestelmän toimivuuteen liittyvät haasteet saataisiinkin ratkaistua, akuston lämmittämisestä saavutettava hyöty on satunnaista. Akuston lämpötila kasvaa, kun virta liikkuu jompaankumpaan suuntaan, eli kun autoa ladataan tai sillä ajetaan. Linja-ahon (2018) mukaan sähköautolla ajetaan valtaosassa tapauksia niin, että sillä lähdetään liikkeelle kotoa tai työpaikalta, juuri kun akku on ladattu täyteen. Monissa autoissa on latauksen ajastus, jotta auto saataisiin ladattua yön aikana halvimmalla mahdollisella sähkön tuntihinnalla. (Linja-aho 2018). Tällöin akusto lämpenee latauksen vaikutuksesta. Sähköverkosta saatavalla energialla lämmitetään myös sisätilat. Akustoa voidaan myös monesti lämmittää ulkoisella sähkölämmittimellä latauksen yhteydessä, jos se ei lämpene riittävästi pelkästä latauksesta.

Vaikka akuston tuottama hukkalämpö ei olekaan riittävä tuottamaan sisätiloihin lämpöä, on se yhdessä koteloinnin kanssa yleensä riittävä lämmittämään akustoa tai ainakin ylläpitämään sen lämpötilan riittävänä. Jos auto seisoo lataamatta pidemmän ajan ja akusto pääsee kylmettymään, se lämpenee ajossa yleensä melko nopeasti. Sähkömoottorin suurinta tehoa ja regeneratiivista jarrutusta on rajoitettu ensimmäisinä ajominuutteina, mutta tilanne paranee pian ajossa. Joissakin järjestelmissä, kuten luvussa 8 esitetystä Teslan järjestelmässä kerätään lisäksi sähköisen tehonsiirron hukkalämpöä akuston lämmittämiseksi kylmässä. Nämä seikat vähentävät akuston ajonaikaisen lisälämmityksen tarvetta entisestään. Jos akustoa joudutaan lisälämmittämään ajon aikana, sähköinen lämmitin kytkeytyy mahdollisimman nopeasti pois päältä, tai sen tehoa rajoitetaan, kun akuston lämpötila on noussut. Esimerkiksi 0 °C lämpötilassa Tesla ei käytä akunlämmitintä ajon aikana lainkaan, vaikka akuston lämpötila onkin kaukana halutusta 20 ... 40 °C lämpötila-alueesta. Suurin ajosädetä lyhentävä yksittäinen tekijä onkin sisätilojen lämmitys. (Bulls 2013).

Jos akuston lämmönhallintaan mentäisiin integroimaan lämmitin, järjestelmän toimivuus tulisi taata mieluiten yhteistyössä autonvalmistajan kanssa. Luultavasti useimmat valmistajat ja maahantuojat eivät olisi innostuneita muuttamaan esimerkiksi BMS-järjestelmää ohjelmallisesti niin, ettei lisälämmittämisestä syntyisi vikakoodia. Etenkin ne valmistajat, joiden akustossa ei käytetä minkäänlaista ulkoista lämmitintä, saattaisivat yksiselitteisesti

kieltää lämmittimen integroinnin, vedoten mahdolliseen akkukennojen lämpökarkaamiseen ja turvallisuuteen. Jos autossa ei ole minkäänlaista valmista akuston lämmitystä eikä nestejäähdytystä, on lisälämmitysjärjestelmän integroiminen akuston lämmittämiseksi todennäköisesti liian haastavaa.

Kaikki nämä seikat huomioiden akuston lämmittämisessä Webasto-lämmittimellä ei ole siis välttämättä järkeä. Akuston lämmönhallinta on kuitenkin niin tärkeä osa sähköautoa, että virheiden tekoon ei ole varaa. Siitä saatava hyöty olisi satunnaista, eikä välttämättä kaiken kehitystyön arvoista. Tosin akuston lämmityksen vaikutuksista ajosäteeseen ei ole tehty kovinkaan paljoa tutkimusta.

6.3 Lisälämmityksen kustannukset

Polttoainekäyttöisen lämmittimen käyttö ei luultavasti olisi edullisempaa kuin ajaminen pelkällä sähköllä. Kuten aiemmin jo todettiin, sisätilojen lämmitykseen tarvitaan -15 °C lämpötilassa keskimäärin 4,5 kW lämpötehoa. Jos sisätiloja lämmitettäisiin tällä teholla yhden tunnin ajan, tarvittaisiin yhteensä 4,5 kWh energiaa. Kun akun lataukseen ja purkuun liittyviä häviöitä ei oteta huomioon, sähkölämmityksen hinta tunnille olisi vain 45 senttiä. Sähkön hinnaksi on oletettu siirtomaksuineen ja muine kuluineen 0,10 e/kWh. Jos sama 4,5 kWh lämpöenergiaa tuotettaisiin esimerkiksi Thermo Top Evo 4D-lämmittimellä, olisi polttoaineen kulutus reilussa tunnissa karkeasti arvioiden 0,55 litraa. Jos dieselöljy maksaa 1,30 euroa per litra, Webaston kuluttaman polttoaineen hinnaksi tulisi 71,5 senttiä, mikä kuulostaa myös melko edulliselta.

Polttoainekuluja suurempi tekijä on Webasto-järjestelmän hankinnasta ja asennuksesta koituvat kulut. Webaston hinta asennettuna sähköautoon saattaisi olla yli 3000 euroa riippuen sovelluksesta, koska tavanomaisten osien ja tarvikkeiden lisäksi sähköautoon tulisi ostaa myös polttoainesäiliö. Toisaalta kun investointi on tehty, Webasto lämmitin tarvitsee oikein asennettuna ja säännöllisesti käytettynä hyvin vähän, tai ei ollenkaan huoltoa. Sen käyttökulut voivat olla todella alhaiset pienen kulutuksen ansiosta. Vaikka Webaston hankinta maksaa, paljon riippuu siitä, paljonko sähköautoilija on valmis maksamaan säästyneestä ajastaan. Ammattikäytössä sähköautolla olisi ajosäteen pidentyessä enemmän mahdollisuuksia tuottavaan työhön, jolloin investointi ja nousevat käyttökulut voisivatkin

maksaa itsensä jollain aikavälillä takaisin. Näistä syistä osa sähköautoilijoista onkin jo tiedustellut Kahalta Webasto-järjestelmän saatavuutta sähköautoihin. (Puolitaival 2018).

6.4 Syitä Webasto-järjestelmän asentamiselle

Tärkeimpinä argumentteina Webasto-järjestelmän puolesta ovat ajan säästäminen ja mukavuus. Etenkin tavanomaisen talviajosäteen ylittävillä matkoilla tai ruuhkaisessa kaupunkiajossa (taksikäyttö) Webasto-järjestelmä toisi paljon mukavuutta kun ajosäteen loppumista ja latauspisteen etsimistä ei tarvitsisi olla pohtimassa normaalia aikaisemmin. Puhallinkytkentää käyttämällä myös sähköauton sisätilat saataisiin lämpimiksi ajastuksella tai kauko-ohjauksella silloin, kun sitä ei voida ladata. Latausinfrastruktuuri on vielä keskeneräinen, eikä sähköautoa voi ladata vielä välttämättä jokaisessa mahdollisessa paikassa asioinnin yhteydessä. Mukavuuden lisääminen on siksi tärkeä huomio.

Lämmittimen polttoainesäiliön tyhjennettyä sen täyttäminen olisi yhtä nopeaa ja vaivatonta kuin polttomoottoriautojenkin tankkaaminen. Lisäksi jos lämmittämistä ajatellaan puhtaasti taloudellisista näkökulmista, autoilija voisi alentaa käytön kustannuksia entisestään käyttämällä vaihtoehtoisia polttoaineita. Esimerkiksi diesellä lämmittimissä voidaan käyttää ilman lisätoimenpiteitä moottoripolttoöljyä, vaikka teknisissä tiedoissa lämmittimiä ei olekaan spesifioitu polttoöljylle (Puolitaival 2018).

Kaikille sähköautoilijoille ajosäteen lyheneminen talvella ei ole välttämättä ongelma, eikä Webaston hankkiminen siksi tarpeellista. Webasto-lämmitin ei myöskään ehkä yksinkertaisesti sovellu kaikkiin sähköautoihin. Järjestelmä kuitenkin vähentäisi oikeaan tarpeeseen ja oikein käytettynä latauksen tarvetta, ja mahdollistaisi paikasta ja latauksesta riippumattoman sisätilojen esilämmityksen. Webaston hyvänä puolena sähköautoissa voidaan pitää sitä, että se voisi ehkäistä ajosäteen vähydestä johtuvaa ahdistusta (range anxiety) ja voisi olla sitä kautta edesauttamassa sähköautojen yleistymistä.

7 LISÄLÄMMITYKSEN INTEGROIMINEN SÄHKÖAUTOON

7.1 Lämmittimiä koskevat säädökset

Boschin (2014, 1379) mukaan kaikki Euroopassa myytävät polttoainekäyttöiset lämmitimet tulee olla hyväksytty EU-direktiivin 2001/56/EC mukaisesti. Kyseinen direktiivi on kuitenkin kumottu lähteen julkaisun jälkeen vuonna 2014 direktiivillä EC No. 661/2009. Direktiivi 661/2009 on edelleen voimassa, eikä sitä olla tietävästi toistaiseksi kumoamassa. Tiivistetysti moottoriajoneuvojen lämmityslaitteita koskevat vaatimukset ovat marraskuusta 2014 tähän päivään asti erottamaton osa moottoriajoneuvojen EY-tyyppi hyväksyntämenettelyä. (Eur-Lex 2014). Direktiivin EC No. 661/2009 liitteen IV mukaisesti ajoneuvojen tyyppihyväksynnässä on noudatettava lämmityslaitteiden osalta UN/ECE:n sääntöä R122.

Myös Apfelbeck ja Barthel ovat käyneet artikkelissaan läpi vuonna 2013 olleen lainsäädännöllisen tilanteen liittyen lämmittimien integrointiin. Jo artikkelin ilmestymisajankohdasta tiedettiin, että tulevaisuudessa polttoainekäyttöisiä lämmittimiä koskee sääntö UN/ECE R122. Koska työssään Apfelbeck ja Barthel tutkivat bioetanolin käytön mahdollisuutta, siinä mainitaan erikseen, että etanolilämmittimen tyyppihyväksyntämenettely ei eroa lainkaan bensiinilämmittimen menettelystä. (Apfelbeck & Barthel 2013).

Sääntö UN/ECE R122 käsittelee autojen sisätilojen lämmitysjärjestelmiä ja lisälämmittimien asennusta. Monet säännön kohdista ovat myös Webasto-lämmittimien asennusohjeissa käsiteltyjä asioita. Lämmittimen paloilmantoa ei saa esimerkiksi R122 kohdan 5.3.5.1 mukaisesti ottaa ajoneuvon matkustamotiloista. Säännön mukaan hyväksytyt lämmitin saa jälkiasentaa ajoneuvoihin ilman katsastus- tai muun viranomaisen erillistä hyväksyntää, sillä oletuksella että valmistajan asennusohjeita on noudatettu. Webasto-lämmittimien markkinoinnin kannalta tärkeää on se, että polttoainekäyttöisiä lisälämmittimiä **saa käyttää toistaiseksi ilman päästö-, tai muita rajoituksia myös täyssähköautoissa Euroopassa.** (UN/ECE R122; Apfelbeck & Barthel 2013). Renault Kangoo Z.E. on hyvä esimerkki tästä luvun 8 mukaisesti, koska kyseisessä sähköautossa on tehdasasenteinen polttoainekäyttöinen lämmitin.

Myös liikenteen turvallisuusvirasto Trafín näkemys lämmitinlaitteen asennuksesta on säännön R122 mukainen. Trafín määräyksessä "Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttaminen" (TRAFI/66404/03.04.03.00/2015) kohdissa 1.5.1 ja 1.5.2 mainitaan, että lisälämmitinlaitteen asentaminen on

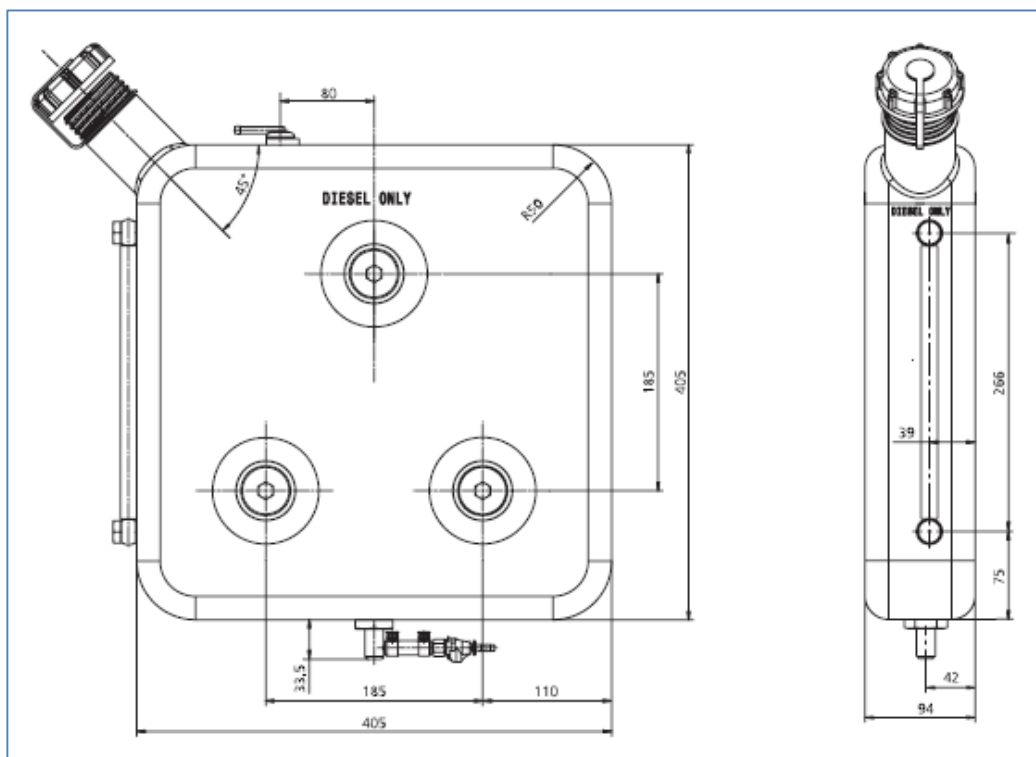
... sallittu ilman muutoksen johdosta vaadittavaa koko ajoneuvon hyväksynnän muutosta edellyttäen, että muutosten jälkeen ajoneuvo täyttää muutoskohteiden osalta niitä mahdollisesti koskevan säädöksen edellyttämät vaatimukset eikä muutoksilla ole vaikutusta rekisteriin merkittäviin tietoihin.

Kahan Teknisen palvelun esimiehen ja Webasto-kouluttaja M. Puolitaipaleen (2018) mukaan aiemmin esitetty tulkinta säännöstä R122 on oikea: uusien tai käytettyjen autojen lisälämmittimien asennuksessa ei ole olemassa Trafín määräyksessä mainittua säädöstä, jossa olisi määritelty lämmittimen asennukseen liittyviä rajoitteita. Tämän vuoksi Webasto-laitteita saa periaatteessa asentaa kuka tahansa ilman muutostarkastusta tai muita toimenpiteitä, kunhan tuote on muuten hyväksytty käyttöön. Esimerkiksi tuotteen e-hyväksyntämerkinnän on oltava kunnossa. Pääsääntöisesti lämmitinvalmistaja, maahantuojat ja jälleenmyyjät huolehtivat näiden seikkojen toteutumisesta. Katsastusviranomaisen tehtävänä on varmistaa määräaikaistarkastuksen yhteydessä auton yleinen turvallisuus, ja tätä kautta puuttua virheellisiin asennuksiin, kuten esimerkiksi polttoainevuotoihin. Katsastusinsinööri ei todennäköisesti pysty ottamaan kantaa esimerkiksi siihen, että onko lämmittimen asennusasento oikea. Lämmittimet ovat yleensä "piilossa" pohjamuovien ja etupuskurin alla, eikä määräaikaistarkastuksen yhteydessä ole mahdollisuutta lähteä purkamaan näitä osia. Webasto on asettanut omiksi takuehdoikseen sen, että takuun voimassaolo edellyttää lämmittimen asentamisen Webasto-kurssin suorittaneen ammattilaisen toimesta. Kaha vastaa Suomessa Webasto-koulutuksista esimerkiksi henkilöautoihin, raskaaseen kalustoon ja veneisiin. (Puolitaival 2018.)

Lämmitinlaite ei kuitenkaan koostu polttoainesäiliöstä, koska lähtökohtaisesti Webasto-lämmittimet ottavat polttoaineen auton omasta polttoainesäiliöstä. Yksi lisälämmittimen integroinnin suurimmista haasteista onkin ulkoisen polttoainesäiliön asentaminen sähköautoon hyväksytyllä tavalla.

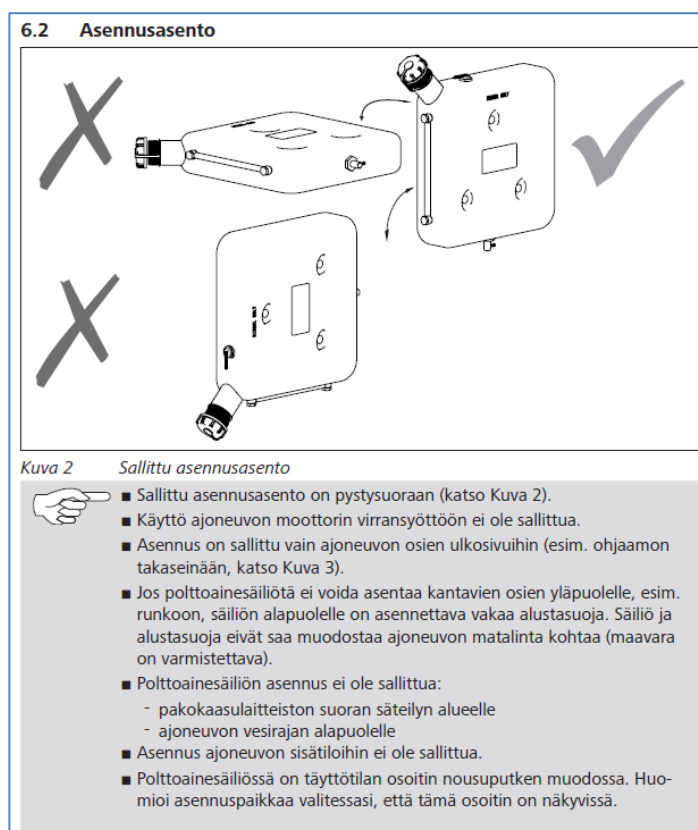
7.2 Polttoainesäiliön integroiminen

Webasto valmistaa lämmittimien ohella myös polttoainesäiliöitä lisälämmityskäyttöön. Polttoainesäiliöitä saa kahta eri mallia, tilavuudeltaan joko 12 tai 24 litraa. Säiliöt ovat suunniteltu vain diesel- ja lämmitysöljystandardien EN 590, DIN 51628 ja DIN 51603 mukaisten polttoaineiden säilytykseen, varastointiin ja kuljetukseen. Valmistajan mukaan säiliötä saa käyttää ainoastaan ylimääräisenä säiliönä lisälämmityksen polttoaineen syöttöä varten ja se on hyväksytty ajoneuvoluokille N (kuorma-autot) ja O (hinattavat laitteet). (Webasto Polttoainesäiliö 12 tai 24 litraa n.d., 2). Tilavuudeltaan 12 litraisien säiliön tekninen piirros on esitetty kuviossa 62.



KUVIO 62. Webaston 12 litran polttoainesäiliö (Webasto polttoainesäiliö 12 tai 24 litraa n.d., 5)

Käyttö- ja asennusohjeessa on esitetty etenkin säiliön asennukseen liittyviä ohjeita. Koska säiliön pohjassa on kuvion 62 mukaisesti polttoainelähtö, ja täyttökaulan puoleisessa päädyssä on täyttömäärän osoittava mittaputki, on säiliön suositeltu asennusasento ainoastaan pystysuoraan. (Webasto Polttoainesäiliö 12 tai 24 litraa n.d., 2) Webaston sallima asennusasento ja viittaukset teknisiin erityispiirteisiin on esitetty kuviossa 63.



KUVIO 63. Webasto-polttoainesäiliön sallittu asennusasento (Webasto Polttoainesäiliö 12 tai 24 litraa n.d., 2)

Asennusohjeiden yhteydessä mainitaan erityisesti sähköstaattisten purkausten mahdollisuus ja säiliön oikea sijoittaminen. Polttoainesäiliö tulisi kiinnittää metallisten väliholkkien kanssa, jotta varmistettaisiin jatkuva potentiaalitasaus ajoneuvoon. Tarvittaessa tulee käyttää maadoitusjohtoa.

7.2.1 Webaston omat asennusohjeet ja sääntö UN/ECE R34

Käytännöllisesti ajateltuna on tärkeää, ettei säiliötä asennettaisi ajoneuvoon törmäysvyöhykkeille. Polttoainesäiliön asennus- ja käyttöohjeessa on esitetty myös säiliöiden asennusta koskevia lakimääräyksiä, eli otteita autojen polttoainesäiliöiden ominaisuuksia koskevasta UN/ECE säännöstä numero 34 (kuva 3). (Webasto polttoainesäiliö 12 tai 24 litraa n.d., 2-3).

8 Asennusta koskevat lakimääräykset
Asennusohjeiden laiminlyönti johtaa polttoainesäiliön valmistajan myöntämän takuun raukeamiseen ja ajoneuvon yleisen käyttöluvan mitätöintiin.
8.1 Ote direktiivistä ECE R34
5 POLTTONESTESÄILIÖITÄ KOSKEVAT VAATIMUKSET
5.4. Ilmanvaihtoputkien on oltava sellaisia, ettei palovaaraa synny. Erityisesti on huolehdittava siitä, ettei säiliöitä täytettäessä mahdollisesti vuotava polttoaine valu pakojärjestelmän päälle. Se on ohjattava maahan.
5.5. Säiliöitä ei saa sijoittaa matkustamon tai muun siihen kiinteästi liittyvän tilan pintoihin (lattiaan, kattoon, rintapeltiin), eivätkä ne saa muodostaa tällaista pintaa.
5.6. Kuljettajalle ja matkustajille varattu tila on erotettava säiliöistä väliseinällä. Väliseinässä voi olla aukkoja (esim. johtojen läpivientä varten), jos ne on sijoitettu siten, ettei polttoaine voi normaalissa käytössä vapaasti valua säiliöistä kuljettajalle ja matkustajille varattuun tilaan tai muuhun siihen kiinteästi liittyvään tilaan.
5.7. Kaikkien säiliöiden on oltava tukevasti kiinnitettyjä ja siten sijoitettuja, että tavanomaisissa käyttöoloissa säiliöstä tai sen lisävarusteista mahdollisesti vuotava polttoaine valuu maahan eikä kuljettajalle ja matkustajille varattuun tilaan.
5.8. Täyttöaukkoa ei saa sijoittaa kuljettajalle ja matkustajille varattuun tilaan, tavaratilaan eikä moottoritilaan.
5.10. Säiliöt on asennettava siten, että ne on suojattu ajoneuvon etu- tai takaosaan kohdistuvasta törmäyksestä aiheutuvilta vahingoilta. Säiliöiden läheisyydessä ei saa olla ulkonevia osia, teräviä reunoja tms.
5.11. Polttoainesäiliö lisävarusteineen on suunniteltava ja asennettava ajoneuvoon siten, että vältetään staattiseen sähköön liittyvät syttymisvaarat. Tarvittaessa on toteutettava toimenpiteet, joilla sähkövaraus johdetaan pois. Valmistajan on osoitettava tutkimuslaitokselle ne toimenpiteet, joilla mainitut vaatimukset täytetään.
8. POLTTOAINESÄILIÖN ASENTAMISTA KOSKEVAT VAATIMUKSET
8.1.2. Polttoainejärjestelmän komponentit on suojattava rungon tai korin osilla riittävällä tavalla mahdollisilta kosketuksilta maassa oleviin esteisiin. Suojaa ei vaadita, jos ajoneuvon alla olevat komponentit ovat etäämpänä maasta kuin niiden edessä oleva rungon tai korin osa.
8.1.4. Taipuisien tai joustavien putkien sekä polttoainejärjestelmän komponenttien jäykien osien väliset liitokset on suunniteltava ja rakennettava niin, että ne pysyvät tiiviinä ajoneuvon eri käyttöoloissa huolimatta kierto- ja taipumisiirteistä tai ajoneuvon rakenteen tai käyttöyksikön värinästä.
8.1.5. Jos täyttöaukko on sijoitettu ajoneuvon kylkeen, sen tulppa ei suljettuna saa ulottua viereisiä koripintoja ulommaksi.

KUVA 3. Ote direktiivistä ECE R34 (Webasto polttoainesäiliö 12 tai 24 litraa n.d., 3, muokattu)

UN/ECE R34-sääntö on erityisesti autojen tyyppihyväksyntään polttoainesäiliöiden osalta liittyvä sääntö. Se on ilmeisesti ainoa polttoainesäiliötä ja niiden asentamista koskeva dokumentti. Mikäli ajoneuvon polttoainesäiliö esimerkiksi vuotaa liikaa nestettä törmäyksen jälkeen, ei kyseistä autoa tyyppihyväksytä lainkaan. Sääntö R34 määrittelee kuitenkin kohdassa 4.4 sanan ”säiliö” merkityksen seuraavasti:

’Säiliöllä’ tarkoitetaan säiliöitä, jotka on suunniteltu pitämään sisällään kohdassa 4.6 määriteltyä ensisijaisesti ajoneuvon voimanlähteenä käytettävää polttonestettä, lukuun ottamatta lisävarusteita (täyttöputki – jos se on erillinen osa –, täyttöaukko, tulppa, mittari, liitännät moottoriin tai ylipaineentasausliitännät jne.) (UN/ECE R34, 4.4.)

Kohdassa 4.6 ”polttonesteen” määritellään ”olevan polttoainetta, joka on nestemäistä normaalissa lämpötilassa ja paineessa”. (UN/ECE R34, 4.6.)

7.2.2 Säännön R34 tulkintaa herättävät kohdat

Koska säännössä R34 ”säiliön” määritellään olevan ensisijaisesti ajoneuvon liikuttamiseen tarkoitettun polttonesteen varastointitila, voidaan tulkita, että koko sääntö ei välttämättä koske, tai ainakaan kaikki säännön kohdat eivät välttämättä koske sähköautoon asennettavaa lisälämmittimen polttoainesäiliötä. Lisälämmittimen säiliötä ei käytetä ajoneuvon ensisijaisena voimanlähteenä, eli ajoneuvoa ei liikuteta sillä, vaikka välillisesti se vaikuttaakin sähköauton ajosäteen kasvamiseen talviolosuhteissa. Ajoneuvoa ei tällä tulkinalla tarvitsisi muutoskatsastaa tai isommassa kuvassa tyyppihyväksyttää uudelleen. Webasto kuitenkin mainitsee erikseen kuvan 3 mukaisesti säiliön käyttö- ja asennusohjeissa, että mikäli asennusohjeita ei noudateta, polttoainesäiliön takuu raukeaa valmistajan osalta ja ajoneuvon yleinen käyttöluva mitätöidään. Ohjeessa esitellään lisäksi heti perään keskeisimmät asennusta ja käyttöä koskevat otteet säännöstä ECE R34. Polttoainesäiliön asennus- ja käyttöohjeen sanamuoto (”**Asennusohjeiden** laiminlyönti...”) ei kuitenkaan suoraan tarkoita, että itse sääntö R34 olisi sitova, vaikka se dokumentissa esitelläänkin. Asennusohjeissa ei sanota, että säännön R34 noudattamatta jättäminen mitätöisi säiliön takuun ja ajoneuvon käyttöoikeuden.

Koska polttoainekäyttöisen lämmittimen asentaminen sähköautoon on niin tuore ajatus, ei EU tai muukaan lainlaatija ole todennäköisesti ehtinyt vielä määrittämään lakeja, asetuksia, määräyksiä, sääntöjä tai ohjeita ylimääräisten polttoainesäiliöiden asentamisesta sähköautoihin, tai muihinkaan henkilöautoihin. Säännön ECE R34 noudattaminen mahdollisimman monelta osin ei varmastikaan ole haitaksi, koska kyseessä on ilmeisesti ainoa autojen polttoainesäiliöitä ja niiden asentamista koskeva dokumentti EU:ssa.

ECE R34:n täysi noudattaminen on kuitenkin osittain haastavaa ja herättää ainakin kysymyksiä asennuksesta. Tulkinnanvaraisia kohtia ovat ainakin säiliön määritelmän 4.4 lisäksi kohdat 5.8 ja 5.10.

Säiliö tai sen täyttöaukko eivät saa sijaita säännön R34 kohdan 5.8 mukaisesti sisätiloissa, tavaratilassa tai moottoritilassa (kuva 3). Täyssähköautossa ei ole polttomoottoria, eikä sähkömoottori sijaitse aina välttämättä auton etupäässä kuten useimmissa polttomoottoriautoissa. Sähkömoottori voi sijaita esimerkiksi akselistojen yhteydessä, tai vaikka suoraan sähköauton pyörien navoissa. Tällöin moottoritilaksi laskettava tila voi olla tulkinnanvarainen asia. Asia on merkityksellinen sen takia, että esimerkiksi täyttöaukon sijoittaminen sähköauton konepellin alle voisi olla käytännöllinen ja esteettinen ratkaisu. Jos auton keulassa ei ole autoa liikuttavaa moottoria, mutta esimerkiksi muita korkeajännitteisiä komponentteja, tulisi lainlaativaltuutetulta saada päätös siitä, että onko polttoainesäiliön ja täyttöaukon sijoittaminen näiden komponenttien läheisyyteen sallittua. Se, että pätevätkö samat säiliöiden sijoituksia koskevat säädökset myös sähköauton moottoritilaan riippuu täysin moottoritilan määritelmästä lainsäädännössä. Tällä hetkellä moottoritilalle ei näyttäisi olevan määritelmää EU:n tai kansallisella tasolla.

Kohdassa 5.10 sääntö R34 määrää säiliöiden asennettavan siten, että ”ne ovat suojatut ajoneuvon etu- tai takaosaan kohdistuvasta törmäyksestä aiheutuvilta vahingoilta; säiliöiden läheisyydessä ei saa olla ulkoneuvia osia, teräviä reunoja jne.”. Törmäyksen suuruudesta auton etu- tai takaosaan ei ole kuitenkaan tarkempaa määrittelyä. Säännössä R34 on määritetty auton tyyppihyväksyntään polttoainesäiliöiden osalta liittyvät auton törmäystestit. Nämä testit kuitenkin liittyvät ensisijaisesti niihin polttoainesäiliöihin, jotka on tehty kohdan 4.4 mukaisesti auton liikuttamiseen tarvittavan polttoaineen säilömiseen. Testit liittyvät etenkin auton tyyppihyväksyntäprosessiin, eivätkä säiliön. Siksi törmäyksen suuruuden määrittäminen ylimääräisen polttoainesäiliön asennuksen yhteydessä olisi hyvä määrittää viranomaisilta. Vaikka törmäyksen voimakkuus voitaisiinkin määrittää, tulkinnanvaraa herättää myös säiliöasennuksen riittävän kolariturvallisuuden määrittely.

Jos sähköautoon asennetaan lisälämmittimelle oma, pieni polttoainesäiliö, EU ei ole tyyppihyväksyttänyt autoa tämän säiliön kanssa. Tämän vuoksi säiliön asentamisessa liikutaan harmaalla alueella, ja paljon asennusta varten on varmistuttava säiliön asentamisen laillisuudesta, sekä sitä kautta sähköauton muutoskatsastuksen, mahdollisten poikkeusluvan tai uuden tyyppihyväksynnän tarpeesta.

7.2.3 Viranomaisen näkemys lämmitinjärjestelmän asentamisesta sähköautoon

Trafin määräyksessä TRAFI/66404/03.04.03.00/2015 todetaan yleisellä tasolla kohdassa 1.4, että

Muutokset eivät saa oleellisesti heikentää ajoneuvon liikenneturvallisuuden vaikuttavia ominaisuuksia eivätkä oleellisesti lisätä ohjauslaitteisiin, akselistoihin, jarruihin, voimansiirtoon tai kantaviin rakenteisiin ajon aikana kohdistuvia rasituksia. (TRAFI/66404/03.04.03.00/2015.)

Koska autoon tehdään polttoainesäiliö asentamalla muutos, joka voi etenkin huonosti sijoitettuna aiheuttaa liikenneturvallisuuden heikentymistä kolaritilanteissa, oikea säännön R34 ja Webasto-asennusohjeiden tulkinta riippuu katsastusviranomaisesta ja loppukädessä Liikenteen turvallisuusvirasto Trafista.

Trafin palveluiden tuessa tarkastajana työskentelevän T. Peltokankaan mukaan (2018) sääntöä UN/ECE R34 ei sovelleta polttoainekäyttöisen lisälämmittimen polttoainesäiliöön, koska kohdan 4.4 mukaisesti siinä säilöttävää polttoainetta ei ole tarkoitettu ensisijaisesti auton liikuttamiseen. Aiemmin esitetty tulkinta oli siis oikea. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että polttoainesäiliön saa vapaasti sijoittaa vaikkapa auton sisätiloihin, tavaratilaan tai moottoritilaan, vaikka tämä onkin suoraan kielletty säännön R34 kohdassa 5.8. Lisäksi Peltokankaan mukaan lisälämmittinlaitteen asentaminen ei lähtökohtaisesti edellytä muutoskatsastusta, ja Trafin rakennemuutosmääräys sallii lisälämmittimen asentamisen sellaisenaan ilman, että auton hyväksynnän katsotaan muuttuvan. Muutoskatsastukselle saattaa kuitenkin olla tarvetta riippuen siitä, mitä kaikkea muuta autossa joudutaan muuttamaan lämmitinjärjestelmän asennuksen yhteydessä. (Peltokangas 2018).

Käyttämällä yleisiä hyviä asennustapoja, oikeita osia ja tarvikkeita, sekä maalaisjärkeä säiliön sijoittamisessa, lämmitinjärjestelmän asennuksesta voidaan luultavasti saada aikaan riittävän turvalliseksi katsottava rakennelma, joka ei vaatisi sähköauton muutoskatsastusta.

7.3 Vesilämmittimen integroiminen

Vesilämmitin tulisi integroida alaluvun 4.1 yleisten asennusperusteiden mukaisesti, aina silloin kun se on mahdollista. Lämmitin asennettaisiin siis nestekierto on ennen lämmitin kennoa. Paras sähköä säästävä vaikutus saataisiin, jos lämmitin olisi nestekierrossa juuri ennen PTC-lämmitintä. Lähtökohtaisesti Kahan näkemyksen mukaan vesilämmitin olisi ilmalämmitintä parempi vaihtoehto sähköauton sisätilojen lämmittämiseksi (Puolitaival 2018).

Jäähdytysnestekiertojen kanssa on oltava ehdottoman varma siitä, ettei mahdollinen nestejäähdytteinen akusto ole samassa kierrossa sisätilojen lämmityksen kanssa. Akuston lämmitystä olisi syytä välttää aiemmin esitettyjen seikkojen takia. Jos akustoa kuitenkin välttämättä haluttaisiin lämmitellä vesilämmittimellä, lämmitin ja auton ohjainyksiköt tulisi mahdollisesti ohjelmoida siten, että lämmitin ei missään tapauksessa kuumentaisi akustoa liikaa, eikä lämmittämisestä syntyisi vikakoodeja. Jos sisätilojen lämmityksen nestekiertoa ja akuston nestekiertoa lämmitettäisiin samaan aikaan Webasto-lämmittimellä, järjestelmään tulisi asentaa luultavasti termostaatteja, venttiileitä, antureita, ohjauselektroniikkaa tai muita komponentteja, jotka estäisivät mahdollisimman suurella todennäköisyydellä, että akusto ei ylikuumentaisi. Akuston lämmittäminen Webasto-lämmittimellä vaikuttaa lähtökohtaisesti liian työläältä toteutukselta hyötyyn nähden.

Jos sähköisen tehonsiirron komponenttien nestekierto on samassa piirissä sisätilojen lämmityskierron kanssa, tulisi näiden komponenttien sallittu maksimilämpötila selvittää. Myöskään ajomoottorin tai tehonsiirtoelektroniikan ylikuumentuminen ei ole toivottavaa. Asennus nestekierto on tulisi ensisijaisesti toteuttaa niin, että lämmitin sijoitettaisiin lämmitin kennon tulopuolen liitäntään, alaluvun 3.1 mukaisesti. Vesiliitäntöjen, lämmitin, paloilmaston ja pakoputken asennus tulee tehdä Webaston ohjeiden mukaisesti, suositusten mukaisia asennustarvikkeita ja työkaluja käyttämällä. Tyypillisestä Webasto-asennuksesta poiketen puhallinkytettä ei ole pakko tehdä, koska lämmitin toimii pääasiassa ajonaikaisena lämmitinänä.

Sisätilojen lämpötilan säädön pitäisi olla vesilämmittimen yhteydessä helppoa. Jos integrointi onnistuu ilman vikakoodeja tai muitakaan ongelmia, lisälämmitin kytketään ajetta-

essa päälle, ja tavoitelämpötila asetetaan auton omasta ilmastointijärjestelmästä. Lämmitin kuumentaa PTC-lämmitintä, niin ettei sähkövirta voi edes kulkea sen läpi, vaikka PTC-lämmittimen ohjauksena tulisivat jokin häiriö. Vikojen välttämiseksi PTC-lämmitin olisi hyvä kytkeä pois päältä Webasto-lämmityksen ajaksi, jos se on mahdollista. Esimerkki vesilämmittimen asennuksesta vuosimallin 2011 Nissan Leaf -sähköautoon on esitetty kuvassa 4, ja myöhemmin luvussa 8.



KUVA 4. Thermo Top Evo-vesilämmitin Nissan Leaf -sähköauton vasemman etupyörän etupuolella (Kaha Mallikohtainen asennusohje Nissan Leaf 2012, muokattu)

7.3.1 Puhallinkytkentä

Jos Webasto-asennuksen yhteydessä haluttaisiin saada sama esilämmittämisen tuoma mukavuustaso kuin mihin polttomoottoriautoissa on totuttu, tulisi myös sähköauton vesilämmittimen asennuksessa tehdä puhallinkytkentä. Koska Webaston valmistamaa ja testaamaa puhallinkytkentää ei ole olemassa yhteenkään sähköautoon, kullekin autolle tulisi

koota sopiva sarja yleisistä asennusosista. Ilmaläppien ohjaukseen ja puhallinmoottorin virroittamiseen on olemassa monia valmiita ratkaisuja. Vaikka merkkikohtaista sarjaa ei olisi saatavilla, esimerkiksi puhallinmoottorin ohjaaminen Webasto-lämmittimellä onnistuu, kunhan vain puhallinmoottorin tarvitsema virta on tuotu puhallinmoottorille johdoilla. (Puolitaival 2018.)

Puhallinkytkennän tekoon saattaa liittyä sähkötyöturvallisuuteen liittyviä luvanvaraisia seikkoja. Ilmastointijärjestelmiä ohjataan sähkö- ja hybridautoissa 14 voltin matalajännitteellä (Bosch 2014, 1116). Autoalan keskusliiton (n.d.) mukaan sähkö- ja hybridautojen voimalinjaan kohdistuvat korjaukset kuuluvat sähkötyöturvallisuuslain piiriin, mikä tarkoittaa sitä, että kaikkiin sähkövoimajärjestelmiin liittyvät työt vaativat hyväksytyyn sähköön vaaroihin perehdyttämisen, ja lisäksi perehtyneisyyden kunkin ajoneuvon sähköjärjestelmään. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että työntekijällä tulee olla hyväksytysti suoritettuna esimerkiksi SFS 6002- autoalan sähköturvallisuuskoulutus, sekä automaahantuojan mallikohtainen korkeajännitemekaanikon koulutus. 12/24 voltin piirin sähkötyöt luetaan kuitenkin muuksi korjaus- tai huoltotyöksi, joka ei edellytä sähkövoimajärjestelmään perehtymistä. (AKL Sertifiointi Oy n.d.). Tällöin Webasto-järjestelmän ja puhallinkytkennän pitäisi olla asennettavissa sähköautoon kenen tahansa toimesta, joka on perehtynyt riittävästi autojen matalajännitteisiin sähköjärjestelmiin, ja esimerkiksi SFS 6002-turvallisuuskoulutusta ei Webaston asentamiseen tuolloin vaadittaisi.

Suurimpana haasteena sähköautojen puhallinkytkennässä saattaa olla se, että sähköauton rakenne saattaa vaatia korkeajännitepiirin jännitteettömäksi erottamisen kytkennän tekemiseksi. Lisäksi maahantuoja tai valmistaja voi vaatia tätä Webasto-asennuksen ajaksi. Webaston puhallinkytkennän tekemistä varten paikalle tulisi siis saada kaikki koulutukset läpikäynyt henkilö, joka suorittaisi korkeajännitepiirin jännitteettömäksi erottamisen. Korkeajännitepiirin jännitteettömäksi erottaminen on sähkövoimajärjestelmän sähkötyötä (AKL Sertifiointi Oy n.d.).

Varsinkin käytettyjen sähköautojen tapauksessa tämä voisi osin hankaloittaa vesilämmittimen asentamista ja haitata niiden yleistymistä sähköautoissa. Kyseinen seikka tulisi varmistaa jokaisen sähköauton kohdalla erikseen malliasennuksen yhteydessä. Toisaalta puhallinkytkennän tekemättä jättäminen ei ole niin iso ongelma, koska sähköauto esilämmitetään tavallisessa ajossa aina latauksen yhteydessä.

7.4 Ilmalämmittimen integroiminen

Ilmalämmittimen integroimisessa pätevät muuten samat periaatteet kuin vesilämmittimissä, paitsi että ilmaputkiston suunnitteluun ja sijoitukseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Lämmittimen voisi periaatteessa asentaa suoraan sisätiloihin ilman ilmaputkistoa. Tällöin lämmitystapana olisi sisäkiertolämmitys, jolloin sisätilat lämpenisivät nopeammin. Asentaminen sisätiloihin on säännön UN/ECE R122 mukaisesti myös sallittua kaikkien muiden, paitsi M2 ja M3-luokan ajoneuvojen (linja-autot) sisätiloihin. Sisätiloista ei kuitenkaan saataisi tällä asennustavalla poistettua kosteutta. Lisäksi auton oman ilmastointijärjestelmän lämpötilan säädön toimivuus voi olla rajoitettu sisäkierron kanssa. Siksi suositeltavampi tapa olisi ottaa lämmittimelle raitista ilmaa ulkoa, ja kytkeä auton oma ilmastointijärjestelmä sisäkierrolle.

Koska kuumennettava ilma johdetaan sisätiloihin jatkuvasti ulkoa, kosteutta ei kerry. Lämmittimen raitisilman ottoon tulee tosin asentaa sisäilmaa puhdistava suodatin. Ilmalämmittimissä sopivan asennuspaikan löytäminen on lämmittimen koon ja ilmaputkien vaatiman tilan takia lähtökohtaisesti haastavampaa kuin vesilämmittimissä. Sopiva asennuspaikka riippuu sovelluksesta, mutta todennäköisintä on, että raitisilmakäytöllä lämmitin ei sijaitsisi sisätiloissa.

Haluttu tavoitelämpötila voidaan asettaa Webaston käyttölaitteesta. Lämmitin säätää toimintaansa käyttölaitteen asetuksen ja ulkoisen lämpötila-anturin mukaan. Auton omalla ilmastointijärjestelmällä saadaan aikaan ilman ja lämmön siirto haluttuun paikkaan. Jos auton oma sisäkierto kytketään päälle, auton oma ilmastointi ei hukkaa niin paljon lämpöä ulos, mutta sisätiloihin saadaan silti jatkuvasti raitista ilmaa. Energiaa säästyy varmasti silloin, kun auton oma lämmitin voidaan kytkeä pois päältä, mutta lämpötilaa voidaan silti säätää. Mikäli ilmalämmittimen tuottama lämmitysteho ei ole riittävä, voidaan auton omaa lämmitysjärjestelmää säätää päälle. Automaatti-ilmastoinnin toiminnasta ilmalämmittimen kanssa ei ole sen enempää tietoa – asia tulisi testata asentamalla lämmitin malikohtaisesti ja testaamalla järjestelmän toimivuus.

Ilmalämmittimen asennuksessa tulee ottaa huomioon, että lämmitin pitää asentaa valmistajan ohjeiden mukaisesti joko vaakatasoon, tai lämmitettävän ilman puoli vaakatasosta

alaspäin. Koska sähköautolla ajetaan niin ylä- kuin alamäissä, ei lämmitintä siksi kannattaisi asentaa vaakasuoraan auton pitkittäissuunnassa, kuten alaluvussa 4.4 on esitetty. Hetkellinen ylä- tai alamäessä ajaminen niin, että lähtevän ilman puoli lämmittimestä olisi vaakatasosta ylöspäin, ei luultavasti aiheuttaisi lämmittimelle tai sen toiminnalle haittaa. Auton pysäköinti mäkeen ja lämmittimen käyttö usein tässä mäessä esilämmityksessä voisi kuitenkin aiheuttaa pidemmän päälle ongelmia polttoaineen syöttöön, joten siksi lämmitin kannattaisi asentaa auton pituussuuntaan nähden poikittain. Tällä tavalla mäissä ajaminen tai pysäköinti ei kääntäisi lämmitintä pituusakselinsa ympäri, josta ei ole asennusohjeiden mukaisesti haittaa lämmittimen toiminnalle.

Lämmitin ja siihen liittyvät komponentit tulee asentaa Webaston kiinnikkeitä ja tarvikkeita käyttäen. Jos halutaan käyttää raitisilmakiertoa, tulee lämmitysilmalle porata reikä tai reikiä auton koriin. Webaston valikoimissa on etenkin veneasennuksiin tarkoitettuja läpivientejä ja ilmasuulakkeita tähän tarkoitukseen (Kaha ilmalämmitysjärjestelmä Venet 2017). Esimerkki ilmalämmittimen asennuksesta Nissan e-NV200 -sähköautoon on esitetty alaluvussa 8.5.

7.5 Tulevaisuuden haasteita, 48 V jännitejärjestelmä

Webasto-lämmitysjärjestelmät toimivat toistaiseksi vain 12 tai 24 V nimellisjännitteillä. Pitkään vakiintuneena käytäntönä on, että henkilöautoissa käytetään 12 V sähköjärjestelmiä, kun taas raskaassa kalustossa jännitetaso on 24 voltia (Bosch 2014, 1123). Webasto-lämmittimet, käyttölaitteet ja johtosarjat on mitoitettu niin, että ne kestävät perinteisissä autoissa jännitteen vaihteluita. Esimerkiksi henkilöautoihin tarkoitettulle Thermo Top Evo-lämmittimelle jännitteen vaihteluväli on alaluvun 4.1.5 teknisten tietojen mukaisesti 10,5 ... 17 V. Webasto valmistaa raskaalle kalustolle teholtaan suurempia ja fyysisesti kookkaampia vesilämmittimiä 24 voltin jännitteellä. Air Top Evo-lämmittimiä saa niin 12 voltin ja 24 voltin versioina. Myös sähköautoissa on aina 12 V matalajännitejärjestelmä, jonka avulla toimivat tyypillisesti valot, äänimerkki, lasinpesuri ja sisätilojen mukavuustoiminnot (Bosch 2014, 1116 & 1119).

Yksi tulevaisuuden trendeistä on matalajännitejärjestelmän potentiaalitason nostaminen. Esimerkiksi Mercedes-Benz on ilmoittanut muuttavansa tulevaisuudessa kaikki autonsa

toimimaan 48 voltin sähköjärjestelmällä. Jännitetason nostolla saadaan 4 kertaa enemmän tehoa perinteiseen 12 V järjestelmään verrattuna, mutta kuitenkin ilman ylimääräisiä turvallisuusratkaisuja, joita korkeajännitteisiin sähköjärjestelmiin liittyy. Valmistaja aikoo saada autoihinsa hybriditoiminnot, kuten jarrutusenergian talteenoton, joka toimii tällä samalla jännitetasolla. Lisäksi taataan riittävä sähköenergian siirto sisätilojen sähkölaitteille korkeamman jännitetason myötä. (Ilta-sanomat 2016).

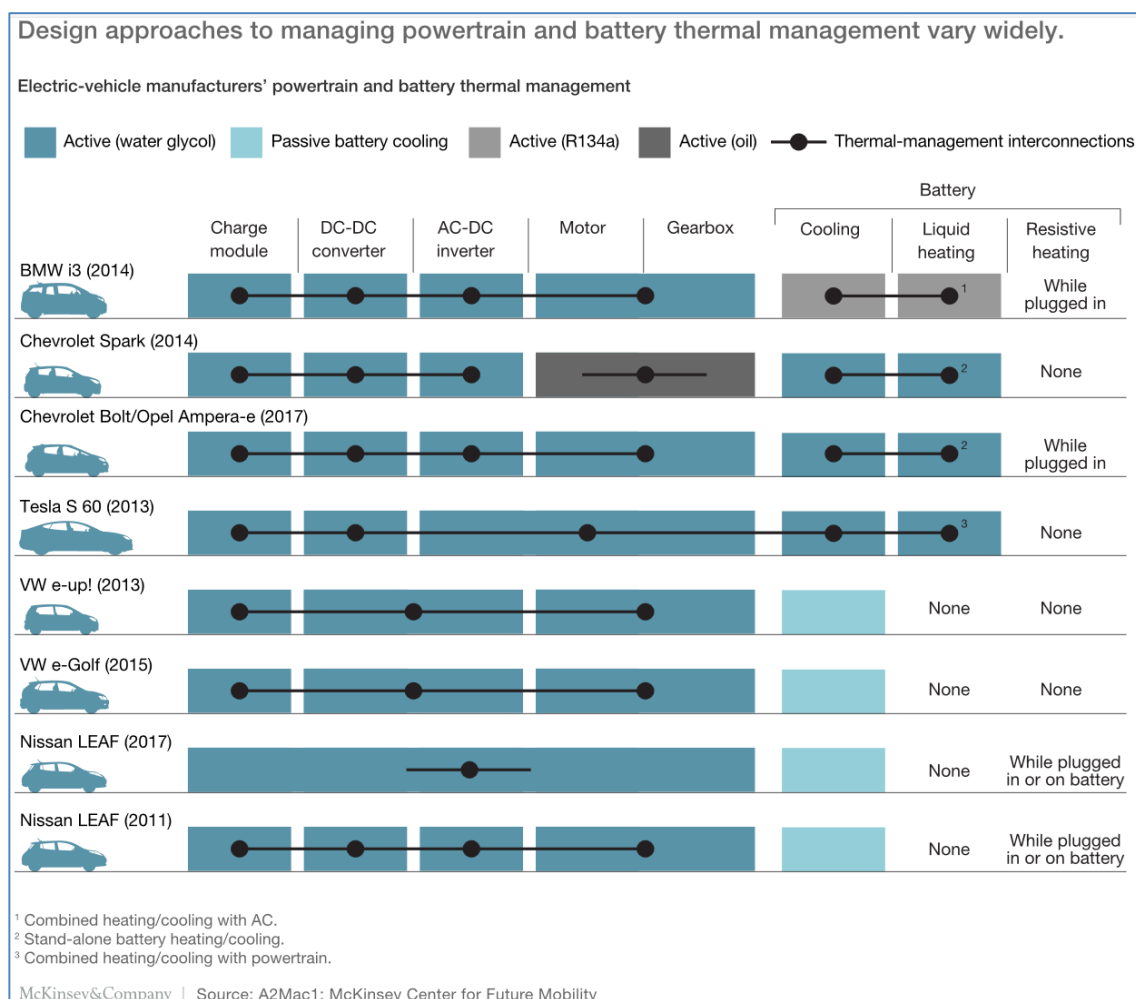
Uusi jännitetaso tarkoittaisi niin ilma- kuin vesilämmittimissä sitä, että lämmittimet, johdosarjat ja käyttölaitteet eivät toimisi tällä jännitetasolla. Lisäksi vesilämmittimissä puhallinkytkentä ja siihen liittyvät komponentit, kuten releet ja ohjainlaitteet, eivät olisi mitoitettu näin suurille jännitteille. Ratkaisuna Webaston tulisi joko päivittää laitteensa uusille jännitetasoille, tai sitten asennuksen yhteydessä jännitetasoa tulisi tiputtaa laitteille sopiviksi. Lisäksi voi olla mahdollista, että esimerkiksi Mercedes-Benzin tulevissa ratkaisuissa esimerkiksi valot toimivat edelleen 12 V nimellisjännitteellä, jolloin autossa olisi saatavilla myös alemmaa jännitettä. Lämmittimen kytkentä olisi teoriassa tehtävissä ilman isompia muutoksia tuotteisiin, kunhan 12 voltin jatkuvaa jännitettä olisi saatavilla. Trendi matalajännitetason nostamisesta saattaa tulevaisuudessa siirtyä myös sähköautoihin.

8 MARKKINOILLA MYYTÄVIEN SÄHKÖAUTOJEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT

Nykyisten sähköautojen sisätilojen lämmityksessä käytetään tavanomaisesti PTC-vastuksia tai ilmalämpöpumppua. Kylmiä olosuhteita varten tosin myös ilmalämpöpumpullisissa autoissa on oltava PTC-lämmitys. Sähköautojen energianhallinnan kannalta on muistettava, että sisätilojen esilämmityksellä saadaan paljon lisäystä ajosäteeseen kylmissä olosuhteissa. Esilämmityksestä on tosin vain silloin ajosäteeseen hyötyä, kun auto on latauksessa ja lämmitykseen tarvittava energia otetaan suoraan sähköverkosta.

Sähköajoneuvojen suunnittelussa on sisätilojen lämmityksen lisäksi otettava huomioon muita lämmönhallinnan kannalta kriittisiä alueita. Tärkeimpiä ovat sähköisen tehonsiirron komponenttien, kuten ajomoottorin ja invertterin, sekä akuston lämmönhallinta. Näiden kokonaisuuksien lämmönhallinta on toteutettava jollain tavalla, mikä voi määrittää kokonaisuuden lämmönhallinnan ja sisätilojen lämmityksen kannalta useita asioita. Valmistajat yrittävät hakea näistä suunnittelulähtökohdista kaikista kustannustehokkaimman ja toimivimman kompromissin.

Sähköautojen suunnittelussa eri valmistajien välillä on McKinsey & Companyn mukaan (2017) vielä paljon eroja. Etenkin akuston ja sähköisen tehonsiirron lämmönhallinta on toteutettavissa monella eri tavalla. Eri ratkaisut ajamiseen liittyvien komponenttien kanssa määrittävät usein myös sen, miten sisätilojen lämmitys voidaan toteuttaa. Keskeisintä on tietää millä ratkaisuilla tehonsiirron komponenttien ja akuston lämmönhallinta on toteutettu, ja ovatko nämä ratkaisut jotenkin yhdistettävissä sisätilojen lämmönhallintaan. McKinsey & Companyn näkemys suunnitteluperusteista on esitelty kuviossa 64. Kaaviokuva perustuu yrityksen aiemmin tekemään vertailuanalyysiin erilaisista sähköautomalleista. Analyysissä jokainen malli on purettu täydellisesti osiin kunkin auton suunnitteluratkaisujen ja lähtökohtien ymmärtämiseksi, ”reverse engineering”-periaatteella.



KUVIO 64. Sähköautojen sähköisen voimalinjan lämmönhallinnan suunnittelunäkemyksiä (McKinsey & Company 2017)

Kuviossa 64 on esillä malleja, jotka ovat tutkimuksen kohteena myös tässä opinnäytetyössä. Kaikille sähköautoille on yhteistä nestejäähdytteiset sähköisen tehonsiirron komponentit. Akuston viilennyksessä on eroja, ja ainoastaan Teslassa akuston nestekierto on yhdistetty tehonsiirron komponenttien nestekiertoon. Niissä autoissa, joissa ei ole nestejäähdytteistä akustoa, on joko passiivinen ilmajäähdytys tai kylmäainejäähdytys. Ainoastaan BMW:n kohdalla on suora maininta, että akuston viilennys ja lämmitys on yhdistetty sisätilojen lämmönhallintaan.

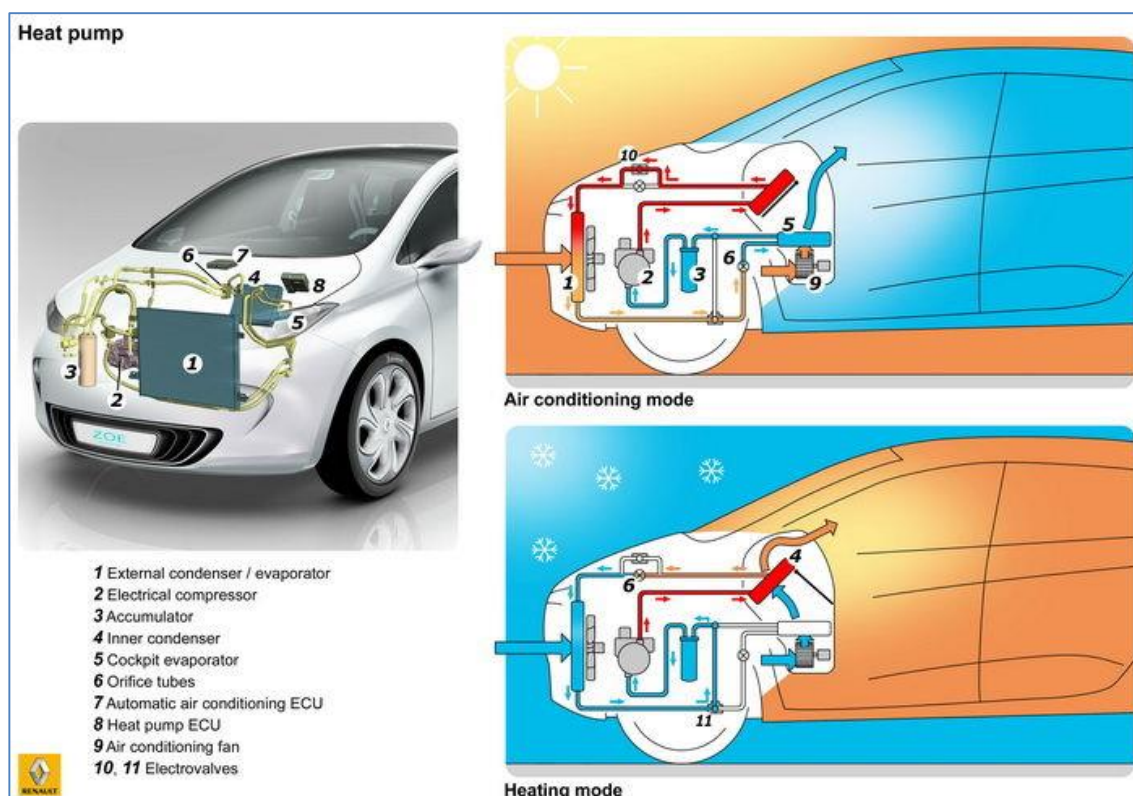
Seuraavissa alaluvuissa esitellään eri sähköautojen sisätilojen lämmitysjärjestelmät. Lisäksi tarvittaessa esitellään akuston ja muun voimalinjan lämmönhallintajärjestelmät. Tarkoituksena on saada näkemys siitä, että ovatko ne auton sisätilojen lämmönhallinnan ja mahdollisen Webasto-asennuksen kannalta oleellisia. Listausta perustuu luvun 2 myynti- ja rekisteröintitilastojen kautta valittuihin malleihin, paitsi että myös Renault Kangoo

Z.E. on valittu mukaan. Tässä autossa on Jalovaaran (2018) mukaan Suomen markkinoilla tehdasasenteinen polttoainekäyttöinen lisälämmitin, joten sen sisällyttäminen opinnäytetyöhön on siksi järkevää. Jokaisen mallin esittelyn lopussa on esitetty tiivistetysti lyhyt näkemys siitä, minkälainen lämmitin kyseiseen autoon kannattaisi asentaa. Lämmittimen tarkkaan sijaintiin tai integroinnin yksityiskohtiin ei oteta kuitenkaan työn tavoitteiden mukaisesti kantaa.

Lähtökohtaisesti vesilämmittimien asentaminen olisi halutumpi tapa, koska sisätilojen lämmitys saadaan aikaiseksi tehokkaasti auton oman puhallinmoottorin ja ilmakehän kautta, kuten valmistaja on suunnitellut. Lisäksi vesilämmitinjärjestelmä vie asennuksen kannalta vähemmän tilaa kuin ilmalämmitinjärjestelmä. (Puolitaival 2018.) Kaikissa sähköautoissa vesilämmittimen integrointi ei ole kuitenkaan mahdollista, jolloin ainoaksi vaihtoehdoksi jää ilmalämmitin.

8.1 Renault Zoe

Renault ja Nissan käyttävät allianssinsa myötä useita samoja osia autoissaan. Tämän myötä on todennäköistä, että aiemmin esimerkkipumppujärjestelmänä esitelty Nissan Leafin ilmalämpöpumppujärjestelmä on tismalleen sama myös Renault Zoessa. Ainakin kuviossa 65 on nähtävissä järjestelmän toimintaperiaate ja keskeisimmät komponentit, jotka ovat samanlaiset kuin Leafissa.



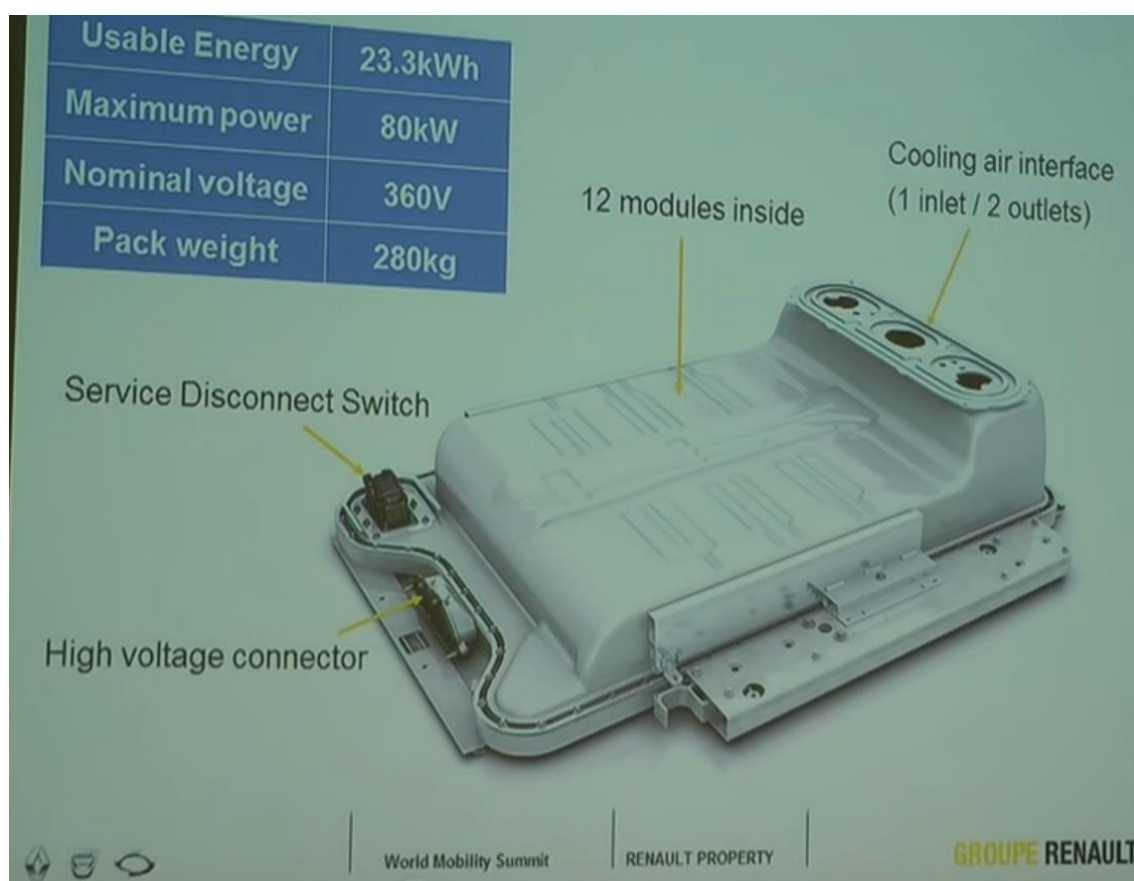
KUVIO 65. Renault Zoen sisätilojen lämmitysjärjestelmä (Nikowitz 2016, 140)

Kuviossa 65 ei ole kuvattuna lainkaan PTC-lämmitintä, eikä Renault mainitse virallisessa mainonnassaan (2012) muuta lämmitystapaa kuin ilmalämpöpumpun. Kuitenkin luvussa 4 esitettyjen seikkojen vuoksi myös Zoessa on oltava Leafin tavoin PTC-lämmitys kovia pakkasia varten. Niillä tiedoilla mitä rakennuskäytössä olevista ilmalämpöpumpuista ja kylmäaineista on aiemmin mainittu, on epätodennäköistä että ajoneuvokäytössä pelkkä ilmalämpöpumppu riittäisi ainoaksi sisätilojen lämmitystavaksi kovilla, -30 °C pakkasilla. Vaikka ilmalämpöpumppu tuottaisikin vielä jotenkin lämpöä myös arktisissa olosuhteissa, PTC-lämmitys olisi hyötysuhteeltaan tehokkaampaa kuin ILP:n käyttäminen, kun COP-kerroin putoaa arvon 1 alapuolelle.

Renault on testannut Zoa Lapin talviolosuhteissa, ja kertoo markkinointimateriaalissaan (Groupe Renault 2012) että auton sisätilat lämpenevät nopeasti ja auto toimii muutenkin hyvin -25 °C pakkasilla. Lisäksi irrallisena sivulauseena on tämän jälkeen maininta, että ILP tuottaa 2 kW viilennystehoa ja 3 kW lämmitystehoa vain 1 kW sähköteholla (Groupe Renault 2012). Lähteessä ei ole kuitenkaan mainintaa missä lämpötilassa nämä arvot on testattu. Jos ilmalämpöpumpun oletettaisiin tuottavan tämä 3 kW lämpöteho aiemmin markkinointimateriaalissa mainituilla -25 °C pakkasilla, olisi COP-kerroin silloin epäilyttävän korkea, eli 3. Vaikka pumpun lämmitystehon ei suoraan väitetäkään olevan 3

kW juuri näissä lämpötiloissa, on Renaultin mainonta hieman harhaanjohtavaa. Sattu-neista syistä -25 °C testiympäristön tarkkaa vaikutusta ajosäteeseen ei mainita muuten, kuin että kylmä ympäristö lyhentää ajosädettä, ja että Zoe on ”paras luokassaan, etenkin lämpöpumppujärjestelmänsä ansiosta”.

Zoen akuston lämmönhallinta on toteutettu ilmajäähdytyksellä tai -lämmityksellä (Kane, 2016). Akuston rakenne ja teknisiä tietoja on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Renault Zoen akustossa käytetään ilmalämmitystä ja -viilennystä (Kane 2016)

Kuvassa 5 on nähtävissä akuston takaosassa ilmalämmityksen tai -viilennyksen kanavat. Renault (Zoe Driver's Handbook n.d., 1.11) ilmoittaa, että akuston lataaminen voi olla mahdollista, jos auto on seissyt yli seitsemän päivää jatkuvassa, yli -25 °C pakkasessa. Ratkaisuna on odottaa, että ympäristön lämpötila lauhtuu, tai tarvittaessa hinata auto sopivampiin latausolosuhteisiin (Zoe Driver's Handbook n.d., 5.21). Akustolle ei siis ole omaa, erillistä lämmitintä joka toimisi suoraan verkkovirralla. Auto tulisi laittaa lataukseen aina heti ajon jälkeen, kun akusto on vielä lämmin (Zoe Driver's Handbook n.d.,

1.11). Akuston lämmittämiseksi siis saattaisi olla tarvetta etenkin suomen lapin olosuhteissa, jos autoa haluttaisiin ladata pidemmänkin seisonnan jälkeen. Lisälämmittimellä tähän ei kuitenkaan pystytä kuin ehkä välillisesti. Koska sisätiloissa ei käytetä nestekierroja, voi Zoen integroida ainoastaan ilmalämmittimen.

8.2 Tulossa oleva Renault Kangoo Z.E.

Kangoo Z.E.-mallia ei ollut tammikuussa 2018 vielä yhtäkään rekisterissä Suomessa. Auto on kuitenkin mallina mielenkiintoinen, koska Renault Suomen (2017) mukaan auton ilmastointilaitteessa on lämpöpumppu, joka lisää toimintamatkaa kylmissä olosuhteissa. Ilmalämpöpumpun rajoitteet ovat kuitenkin tiedossa, joten toimintamatkan lisäys pelkkään PTC-lämmitykseen verrattuna lienee parhaimmillaan pienillä pakkasilla. Myös Kangoossa on oltava PTC-lämmitin kovia pakkasia varten. Vaihtoehtona PTC-lämmittimelle Renault kuitenkin varustaa Suomeen tuotavia autoja polttoainekäyttöisellä lisälämmittimellä, jotta ajosädetä saataisiin kasvatettua kylmissä olosuhteissa (Jalovaara 2018; Renault Suomi: Uusi Renault Kangoo Z.E. nyt Suomessa 2018). Polttoainekäyttöisen lämmittimen integroimistavasta lämmitysjärjestelmään ei ole vielä tarkemmin tietoa, mutta tällainen tehdasasenteinen järjestelmä osoittaa, että myös autonvalmistajat eivät ole hylkäämässä polttoainekäyttöisen lisälämmittimen käytön mahdollisuutta. Joitakin päätelmiä lämmitysjärjestelmästä voidaan kuitenkin tehdä, kun muutamia teknisiä yksityiskohtia autosta on tiedossa.

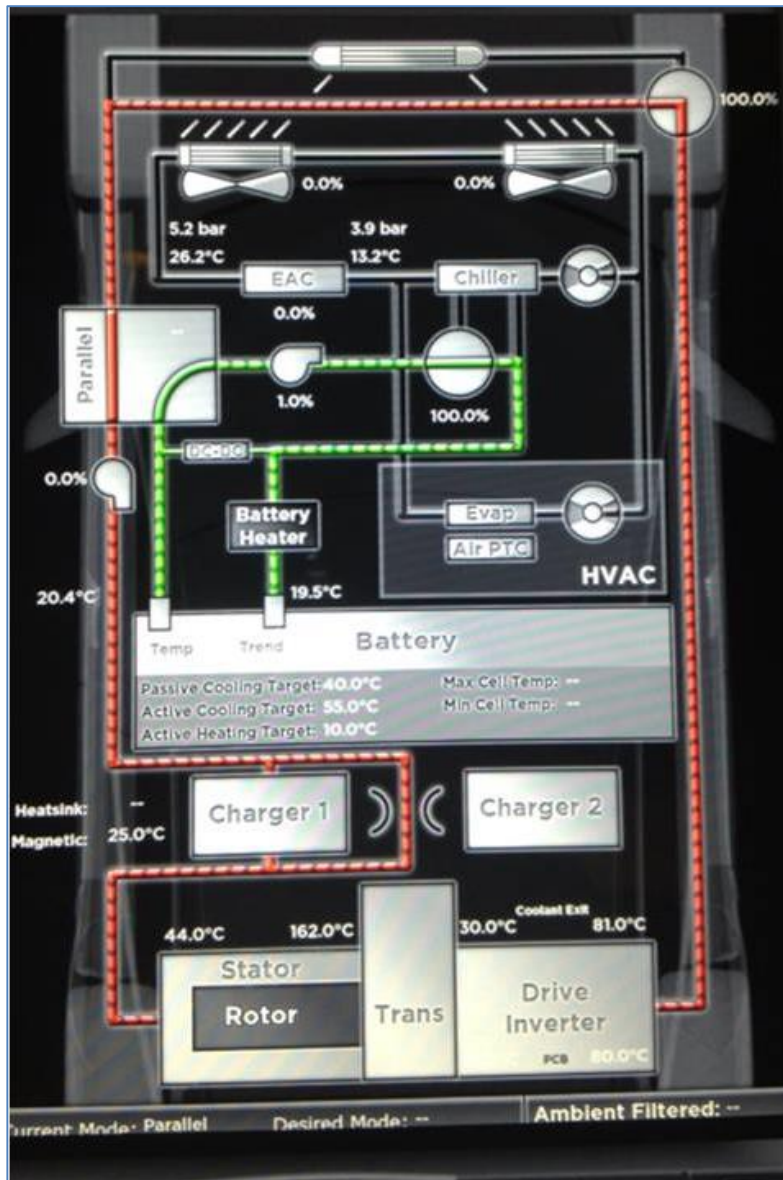
Renault Suomen (2018) mukaan ilmalämpöpumpun lisäksi monet muut Kangoo Z.E.:n teknisistä ratkaisuista ovat läheisiä Zoe-mallille. Esimerkiksi akustossa käytetään samaa LG Chemin ja Renaultin tekniikkaa, mikä viittaa siihen, että myös Kangoo Z.E.:n akusto on Zoen tapaan ilmajäähdytetty. Akustoa ei pysty pikalataamaan, mikä viittaa myös siihen, että nykyisellä akuston lämmönhallinnalla ei pystytä takaamaan tarvittavaa viilennystä pikalatauksessa kesällä. Toisaalta myöskään Zoessa ei ole pikalatausmahdollisuutta. Ajomoottori perustuu Zoessa käytettävään moottoriin. Kuten Zoessa, Kangoossa on sisätilojen esilämmitys (tai -viilennys) latauksen yhteydessä ja tämän ajastusmahdollisuus.

Koska ilmalämpöpumppu on sama kuin Zoessa, on se luultavasti kuvion 65 kaltainen. Tehdasasenteinen polttoainekäyttöinen lämmitin on mitä todennäköisimmin vesilämmitin, koska Renault on varustanut myös edellisen polven Kangoo Z.E.:tä polttoainekäyttöisellä lämmittimellä lisävarusteena. Kangoo First Responder's Guide-ohjeen (2013, 11) mukaisesti tämä oli dieselkäyttöinen vesilämmitin. Polttoainesäiliön tilavuus oli 13 litraa. PTC-lämmitin on myös vesilämmitin, joten sisätilojen lämmitykseen käytettiin ainakin edellisessä mallissa nestekiertoa. On todennäköistä, että uudemmassa mallissa on myös nestekiertoinen lämmitys ja vesilämmitin. Uuden Renault Kangoo Z.E.:n käyttöohjeessa (Vehicle User Manual 2018) lämmittimen polttoainesäiliön kerrotaan olevan tilavuudeltaan myös noin 13 litran suuruinen, ja tankattavan polttoaineen tulisi olla täyttöaukossa olevan tarran mukaista. Lämmittimen polttoaine saattaa siis vaihdella markkina-alueittain.

8.3 Tesla Model S ja Model X

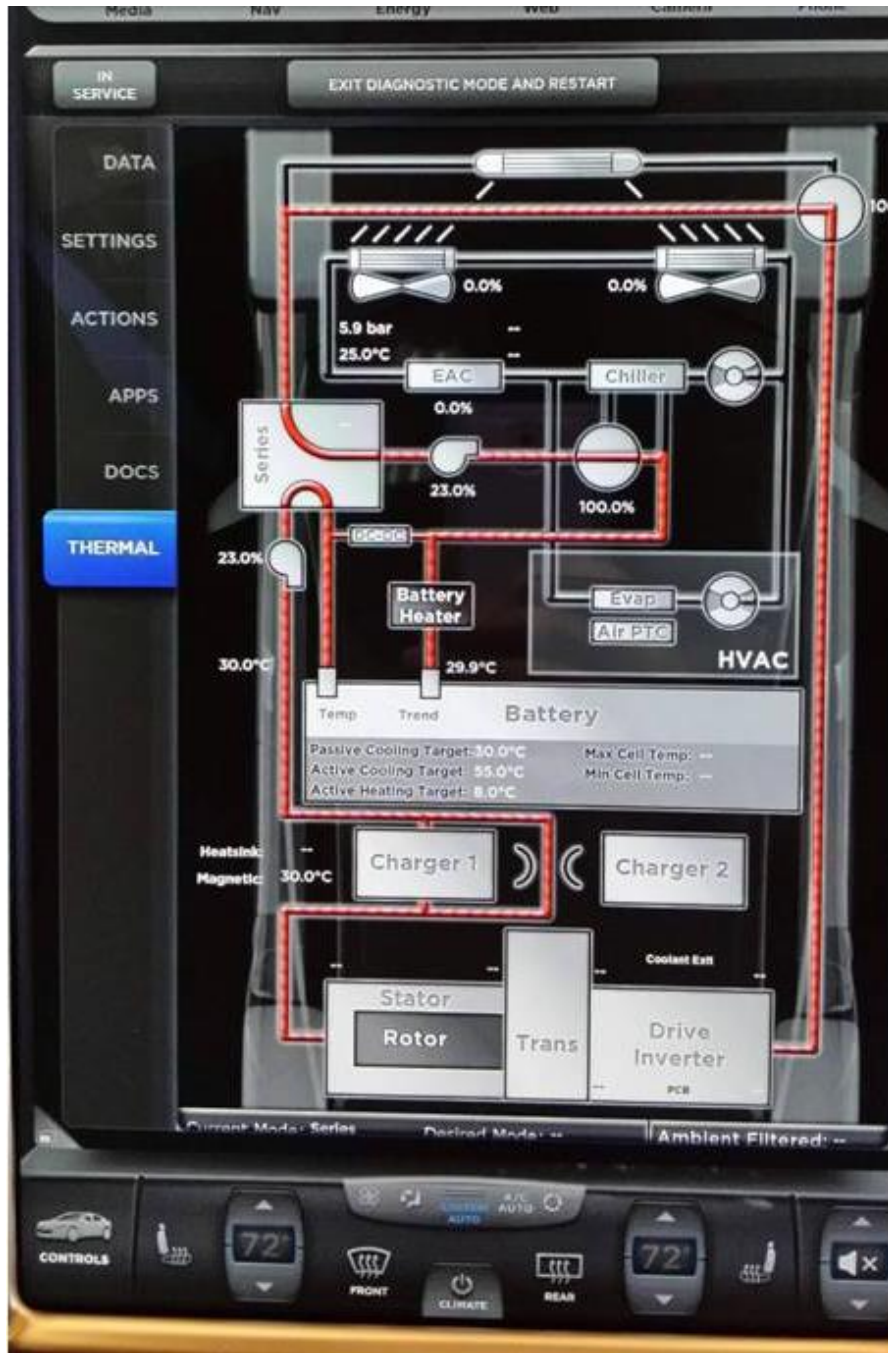
Tesla käyttää PTC-vastuksia sisätilojen lämmittämiseen niin Model X (Tesla Body Repair Tech Note 2017, 4), kuin Model S-malleissaan (Bower 2016). Lämmitykseen ei käytetä nestekiertoa, vaan suoraa ilmalämmitystä. Model S:ssä akustolle ja sähköisen tehonsiirron komponenteille on kuitenkin nestejäähdytys, joka on kytkettävissä yhteiseksi kaikille komponenteille, tai sitten akusto voidaan eristää omaksi rinnakkaiseksi piiriin. (Bower 2016).

Tesla käyttää Model X:ssä samaa voimalinjaratkaisuja ja osin tismalleen samoja akustovaihtoehtoja kuin Model S-mallissa (Loveday 2014). Näin on syytä olettaa, että Model S:stä saatavilla olevat tiedot sisätilojen lämmityksen, kuin sähköisen tehonsiirron osalta pätevät täysin myös Model X:n kanssa. Tesla Model S-mallin sähköisen tehonsiirron, akuston ja sisätilojen lämmönhallintapiirit on esitetty kuvassa 6. Eri jäähdytysnestepiirit on merkitty vihreällä ja punaisella, ilmastoinnin kylmäainepiiri on merkitty harmaalla.



KUVA 6. Tesla Model S akuston, tehosiirron ja sisätilojen lämmönhallinnan piirit rinnankytkennässä (Bower, 2016)

Kuvasta 6 nähdään, että akustolle ja sähköiselle tehosiirrolle on omat jäähdytysnestekiertoonsa. Akuston nestekiertoa lämmitetään tarvittaessa sähköisellä upotuslämmittimellä (Battery Heater). Myös sisätilojen PTC-lämmitin (Air PTC) on kuvassa näkyvillä. Teslan järjestelmä mahdollistaa sen, että nestekierrat voidaan yhdistää sarjaan niin, että sähkömoottorin ja voimansiirron tuottamalla hukkalämmöllä lämmitetään kylmässä akustoa, kuvan 7 mukaisesti.



KUVA 7. Tesla Model S akuston, tehonsiirron ja sisätilojen lämmönhallinnan piirit sarjaankytkennässä (Bower, 2016)

Jostain syystä Tesla ei käytä ilmalämpöpumppua, vaikka se on rakentanut järjestelmän niin, että akuston viilentäminen ilmastointilaitteella on mahdollista vesi-kylmäaine lämmönvaihtimen (chiller) ansiosta. Ilmastointijärjestelmällä voidaan jäähdyttää akkua tehokkaasti kesällä kuvan 6 tilanteessa, jossa akuston nestekierto on eristetty omaksi piirikseen. Koska sisätilojen lämmitykseen ei käytetä nestekiertoja, on vesilämmittimen asentaminen Teslojen sisätilan lämmittämiseen lähtökohtaisesti mahdotonta. Ainoaksi

vaihtoehdoksi jää tällöin ilmalämmitin. Toki akuston nestekiertoon voitaisiin liittää vesilämmitin akuston lämmittämiseksi kylmässä, mutta ylikuumentuminen tulisi estää täydellisesti. Laitteiston sopivuus auton oman valvontajärjestelmän kanssa tulisi myös varmistaa (luultavasti suuren) kehitystyön kautta niin, ettei lämmittimen käytöstä aiheutuisi vikakoodeja.

8.4 Nissan Leaf

8.4.1 Ensimmäiset Nissan Leafit ja Kahan tekemä malliasennus

Ensimmäiset (2010–2012) Nissan Leafit käyttivät lämmitykseen PTC-lämmitintä, joka lämmitti jäähdytysnestekiertoa alaluvun 3.1.1 kuvion 4 mukaisesti. Kaha on tehnyt malliasennuksen ilman puhallinkytkentää tällaiseen Leafiin. Thermo Top Evo-vesilämmitin liitettiin auton jäähdytysnestekiertoon ja asennettiin vasemman etupyörän etupuolelle etupuskurin nurkkaan kuvan 8 mukaisesti.



KUVA 8. Nissan Leaf 2011 vesilämmittimellä (Kaha Mallikohtainen asennusohje 2012)

Polttoainesäiliö sijoitettiin ajoneuvon takaosaan. Säiliö kiinnitettiin alustaan tarkoitusta varten tehdyllä asennusraudalla. Takapuskuriin porattiin reikä polttoaineen täyttökaulusta

varten. Kaulus ja polttoainesäiliö yhdistettiin toisiinsa letkulla. Täyttökaulus ja säiliö on esitetty kuvassa 9.



KUVA 9. Täyttökauluksen ja polttoainesäiliön sijainti (Kaha Mallikohtainen asennusohje 2012)

Säiliön ja täyttökauluksen sijaintien voidaan katsoa olevan säännön UN/ECE R34 vastaiset. Luvun 7 mukaisesti säiliön tulisi olla suojattuna ajoneuvon perään kohdistuvalta törmäykseltä. Kuten kuvasta 9 nähdään, säiliö sijaitsee takapuskurin ja taka-akselin välisellä alueella, jonka voidaan olettaa olevan törmäysvyöhykettä. On kuitenkin muistettava, että sääntöä R34 ei tarvitse noudattaa alaluvun 7.2.3 mukaisesti. Muutoksastuksen tarve tälle asennukselle riippuu viranomaisten tulkinnoista. Puolitaipaleen (2018) mukaan voidaan olettaa, että ajoneuvo on läpäissyt tähän asti kaikki määräaikaikatsastukset ilman huomautuksia polttoainesäiliöstä, koska Kahalle ei ole tullut tietoa ongelmista kyseisen ajoneuvon katsastuksen kanssa.

Asennus ei ole myöskään Webaston omien ohjeiden mukaan sallittu, koska säiliö on asennettu vaakasuoraan. Täyttöputkeen on liitetty haitariputki, joka on johdettu takapuskurissa olevalle täyttökaulukselle. Ainoa sallittu asennusasento säiliölle on luvun 7 ja kuvion 63 mukaisesti pystysuoraan. Käyttö- ja asennusohjeiden mukaisesti (n.d., 3) tämän asennuksen tulisi siis Webaston mukaan johtaa säiliön takuun raukeamiseen ja ajoneuvon käyttöluvan mitätöintiin. Kahan tulkinta polttoainesäiliön maahantuojana on kuitenkin alaluvun **Error! Reference source not found.** mukaisesti ristiriidassa Webaston oman ohjeen kanssa. On tosin totta, että tällä sijoituksella polttoainesäiliö ja täyttöletku ovat melko alttiita vaurioille, joko ajan saatossa tai ulkoisen tekijän johdosta. Asennus vaaka-

tasoon tarkoittaa sitä, että esimerkiksi säiliön täyttökauluksen ja täyttöletkun välisen liitoksen peittäessä täydestä säiliöstä valuu ympäristöön ainakin puolet säiliön sisältämästä polttoaineesta.

Järjestelmä toimii ajon aikana siten, että lämmitin kytketään oman käyttölaitteensa kautta päälle halutuksi ajaksi. Lämmitin kuumentaa jäähdytysnestekiertoa ennen auton omaa PTC-lämmitintä, jolloin sen lämpötila ja vastusarvo nousevat, eikä sähkövirta kulje sähkölämmittimen läpi. Käytännön testit ja laboratoriomittaukset osoittivat, että varsinkin kaupunkiajossa Leafin ajosäde kasvoi merkittävästi. (Puolitaival 2018).

8.4.2 Nissan Leaf 2012 eteenpäin

Järjestelmä muuttui vuonna 2013 Nissan HAC:n (2014) ja Lovedayn (2015) mukaan niin, että ilmalämpöpumppu tuli lisävarusteeksi. Lämmitykseen ei enää käytetty nestekiertoa. Perusmalli S käytti ilmasta-ilmaan PTC-lämmitintä alaluvun 3.1.2 mukaisesti. SV- ja SL-varustelun autoissa on ilmalämpöpumppu alaluvun 3.4.1 mukaisesti. Myös näissä malleissa on PTC-lämmitin. Lämmityslaitteen tehontarve väheni ilmalämpöpumpun myötä talvikäytössä 70 % (Laitala 2013).

Vuonna 2017 esiteltiin uusin, toisen sukupolven versio Nissan Leafista. Autossa on ilmalämpöpumppu vakiovarusteena kaikissa muissa, paitsi Visia-perusvarustetasossa. Kuvion 64 mukaisesti uudemmassa ja vanhemmassa Leafissa on molemmissa akuston lämmitys kylmiä olosuhteita varten (McKinsey & Company 2017).

Ensimmäisen ja toisen sukupolven Leafeissa akusto on passiivisesti ilmajäähdytetty (McKinsey & Company 2017). Tämä tarkoittaa sitä, että akusto viilenee ajoviimasta, ja on suuresti riippuvainen ympäristön lämpötilasta. Etenkin kuumilla alueilla Nissanilla olikin ensimmäisissä Leafeissa ongelmia akuston lämmönhallinnan kanssa, kun useat autojen omistajat Kaliforniassa ja Arizonassa raportoivat ennenaikaisesta akuston ja ajosäteen heikkenemisestä. Ongelmat johtivat USA:ssa joukkokanteeseen Nissania vastaan ja sovintoon, jossa Nissan kustansi uudet akustot kaikkiin takuunalaisiin autoihin, joiden akkukapasiteetti oli heikentynyt. (Blanco 2015). Passiivinen ilmajäähdytys ei tietenkään toimi jos auto on paikoillaan, joten varsinkin pikalataus kuumensi akustoa liikaa. Leaf on

päivittymässä vuoden 2018 lopussa tai 2019 alussa. Nissan vaihtaa akkutoimittajaa ja lisää akuston kapasiteettia. Akusto saa samalla lämmönhallintajärjestelmän. (Pontes 2017.) Lämmönhallintajärjestelmä toimii ilmeisesti ilmajäähdytyksellä.

Vuosien 2011 ja 2012 malleja lukuun ottamatta Leafeissa ei siis käytetä lämmönhallintaan nestekiertoja, joihin vesilämmittimen voisi integroida. Käytännössä ainoaksi vaihtoehdoksi uudempiin Leafeihin jää siis ilmalämmitin.

8.5 Nissan e-NV200

Nissanin pienessä hyötyajoneuvossa e-NV200:ssa on käytetty paljon Leafin tekniikkaa, esimerkiksi voimalinja on käytännössä sama kuin Leafissa (Nissan Newsroom Europe 2014). Auton vakio- tai lisävarusteissa ei kuitenkaan ole mahdollisuutta saada ilmalämpöpumpun kanssa kuten Leafia (Nissan Suomi 2018). Nissanin pelastushenkilökunnalle tehdyn ohjeen (First Responder's Guide 2014, 8-9) mukaan sisätiloja lämmitetään ainoastaan PTC-lämmityksellä.

Vaikka e-NV200:ssa on paljon yhteisiä osia Leafin kanssa, niin akku on rakenteeltaan hieman erilainen. Nissanin (Newsroom Europe 2014) mukaan autoa tullaan ajamaan enimmäkseen työkäytössä kaupunkien sisällä niin, että ylikuumentuminen on mahdollista etenkin, kun jakeluajon yhdistää pikalataukseen työpäivän aikana. Tämän vuoksi akustolle on kehitetty Leafista poiketen aktiivinen ilmaviilennys/-lämmitys, joka on integroitu auton ilmastointijärjestelmään. Ilmastointijärjestelmän putket on tuotu akustolle, jonka sisällä on pieni lämmönvaihdin. Kennon läpi puhalletaan joko lämmittävää tai viilentävää ilmaa, joka muuttaa kennojen lämpötilaa. (Nissan Newsroom Europe 2014). Akusto on esitetty kuviossa 66.



KUVIO 66. Nissan e-NV200 akusto. Ilmastoinnin kylmäaineputket liitetään akuston etupäästä sähkökytkentöjen vierestä (Loveday 2014.)

Koska auton ilmastointijärjestelmän putket menevät akustolle, on mahdollista, että e-NV200:ssa olisi akustoa varten oma lämpöpumppujärjestelmänsä. Tämä olisi todella erikoinen ratkaisu, koska sisätilojen lämmitykseen ei käytetä lämpöpumppua. Kylmäainekierron varaosakuvia lukiessa, ei missään e-NV200 variantissa ole kylmäainekierron suuntaa muuttavaa kolmitieventtiiliä (Partslink24 2018). Ainoastaan kylmäaineen määrään vaikuttavat kaksitieventtiilit ovat ainoat akustolle menevässä putkistossa olevat venttiilit (Partslink24 2018). Venttiilipaketin alkuperäinen osanumero on 924874FA0A ja se on bildelsbasen.se-varaosasivustolla esitetyn kuvan (2018) perusteella vain yksinkertainen sähköisesti ohjattu venttiilipari, joka ei voi vaihtaa kylmäaineen kiertosuuntaa.

Variantista riippuen järjestelmä voi olla varustettu ainoastaan akuston viilennyksellä. Kaksitieventtiilien osanumero pysyy kuitenkin samana, oli autossa akuston lisäksi akuston lämmitys tai ei (Partslink24 2018). Akuston viilennys on siis liitetty ilmastointijärjestelmään, mutta lämmitys on toteutettu muilla keinoilla. Akuston suljetun koteloinnin sisällä on suurella todennäköisyydellä höyrystimen lisäksi sähköinen PTC-lämmitin, joka kuumentaa akustolle puhallettavaa ilmaa. Oletus perustuu siihen, että akuston viilennys- ja lämmitysmoduulille on varaosanumero 295E34FA4A, mutta kun lämmitystä ei ole, on

osanumero 295E34FA4B. Molempien revisioiden varaosakuva on sama. Partslink24-palvelun (2018) tarjoamissa suuntaa-antavissa suositusvähittäishinnoissa (ALV 0 %) on noin 115 euroa eroa: lämmityksellä varustettu A-revisio maksaa 800,88 e ja B-revisio ilman lämmitystä 685,28 e. On helppo kuvitella, että lisäkustannus johtuisi PTC-lämmittimen lisäämisestä moduuliin.

Polttoainetoimisen lisälämmittimen integroiminen e-NV200-malliin on siis käytännössä ainoastaan tehtävissä ilmalämmittimellä. Integroinnilla ei pystytä vaikuttamaan nimellisesti akuston lämmönhallintaan. Seuraavassa alaluvussa on esitelty Kahan tekemä ilmalämmittimen malliasennus vuodelta 2015.

8.5.1 Kahan tekemä malliasennus Nissan e-NV200

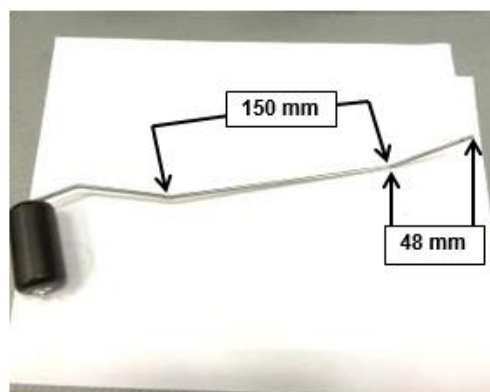
Kaha on tehnyt malliasennuksen myös e-NV200-sähköautoon. Lisäksi tähän malliin on saatavilla asennussarja. Asennus suoritettiin tuolloin uuteen Nissan e-NV200 pakettiautoon vuonna 2015. Malliasennuksessa Webaston Air Top Evo 40-lämmitin, polttoainesäiliö ja tarvittavat asennustarvikkeet asennettiin auton konetilaan. Auton sisätiloihin johdettiin ilmasuulakkeet poraamalla rintapeltiin reiät kuljettajan ja apukuljettajan puolen jalkatiloihin. Kojelautaan asennettiin MultiControl-käyttölaite ja polttoainesäiliöön asennettiin vipuanturi, jonka kohoon liitettiin alhaisen tason merkkivalon kytkentä. Sähköiset liitännät tehtiin autossa olleeseen 12 voltin matalajännitejärjestelmään. (Kaha mallikohdattaiset asennusohjeet 2015.) Otteita malliasennusohjeista on esitetty kuvissa 10 - 13.



KUVA 10. Webasto Air Top Evo 40-lämmitin asennettuna Nissan e-NV200 moottoritiilaan. Oikealla jarrunestesäiliön alla musta polttoainesäiliö ja sen korkki (Kaha mallikohtaiset asennusohjeet 2015.)

13. Taivuta vipuanturin tanko taivutusmallin mukaisesti (viim. sivu). Poraa polttoainesäiliöön 40 mm reikä vipuanturille. Asenna vipuanturi pa-säiliöön. Varmista että koho liikkuu riittävästi. Led-merkkivalon pitää sammua kun säiliössä n.4 litraa polttoainetta.

14. Kiinnitä polttoainesäiliöön asennusrauta.



KUVA 11. Polttoainesäiliö ja vipuanturi (Kaha mallikohtaiset asennusohjeet 2015.)

18. Tee kuljettajan jalkatilan rintapeltiin 65 mm aukko, kuvan mukaisesti. Varmista ettei takana ole mitään ennen kuin poraat.



19. Asenna ilmasuulake auton sisäpuolelle ja kiristä se letkumuhvilla konehuoneen puolelta. Käytä tiivistysmassaa rintapellin läpiviennissä.



KUVA 12. Ilmasuulakkeen läpivienti kuljettajan puolelle (Kaha mallikohtaiset asennusohjeet 2015.)

25. Poraamalla polttoaineen Led-merkkivalolle 8 mm reikä kojetaulun vasempaan reunaan (ympyrä). Liitä multicontrolin johtoliitin Webaston johtosarjan diagnoosi-liittimeen. Asenna multicontrol ajastin kuvan mukaisesti.



26. Kytke jatkamasi Webaston virtajohto akulle. Asenna johtoon sulake akun viereen. Kytke Led-merkkivalon kytkentäkaavion mukaan.



KUVA 13. Ylempänä MultiControl-käyttölaite ja polttoaineen tason merkkivalo asennettuina sisätiloihin. Alempana matalajännitepiirin akku, jonka vasemmalla puolella on nähtävissä polttoainesäiliö (Kaha mallikohtaiset asennusohjeet 2015.)

Myös tässä malliasennuksessa säiliön sijainti on oletettavasti säännön UN/ECE R34 vastainen, koska säiliö ja säiliön täyttökaulus sijaitsevat moottoritilassa kohdan 5.8 vastaisesti. Lisäksi moottoritilan voidaan olettaa olevan törmäysvyöhykettä, jolloin sijoitus olisi myös kohdan 5.10 vastainen. Asennuksen pitäisi olla kuitenkin sallittu, koska sääntöä R34 ei tarvitse noudattaa. Jos e-NV200 säiliöasennusta verrataan aiemmin esiteltyyn Leafin säiliöasennukseen, on sijoitus ajoneuvon moottoritilaan huomattavasti riskittömämpi vaihtoehto. Vaikka säiliö sijaitseekin kolarivyöhykkeellä, siihen ei tarvitse tehdä muokkauksia. Säiliön täyttäminen tapahtuu valmistajan suosittelemassa asennossa ja suositellulla tavalla. Vaaraa esimerkiksi täyttöletkun halkeamisesta ajan saatossa tai ulkoisesta tekijästä johtuen ei ole, toisin kuin Leafin tapauksessa alustaan ja auton perään sijoitetussa säiliöasennuksessa. Kolariturvallisuutta lisää myös dieselpolttoaineen käyttö. Täten, jos Leaf-asennuksessa ei ole ollut ongelmia katsastuksessa, niin e-NV200 malliasennuksessa niitä tulisi olla maalaisjärjellä ajateltuna vieläkin vähemmän.

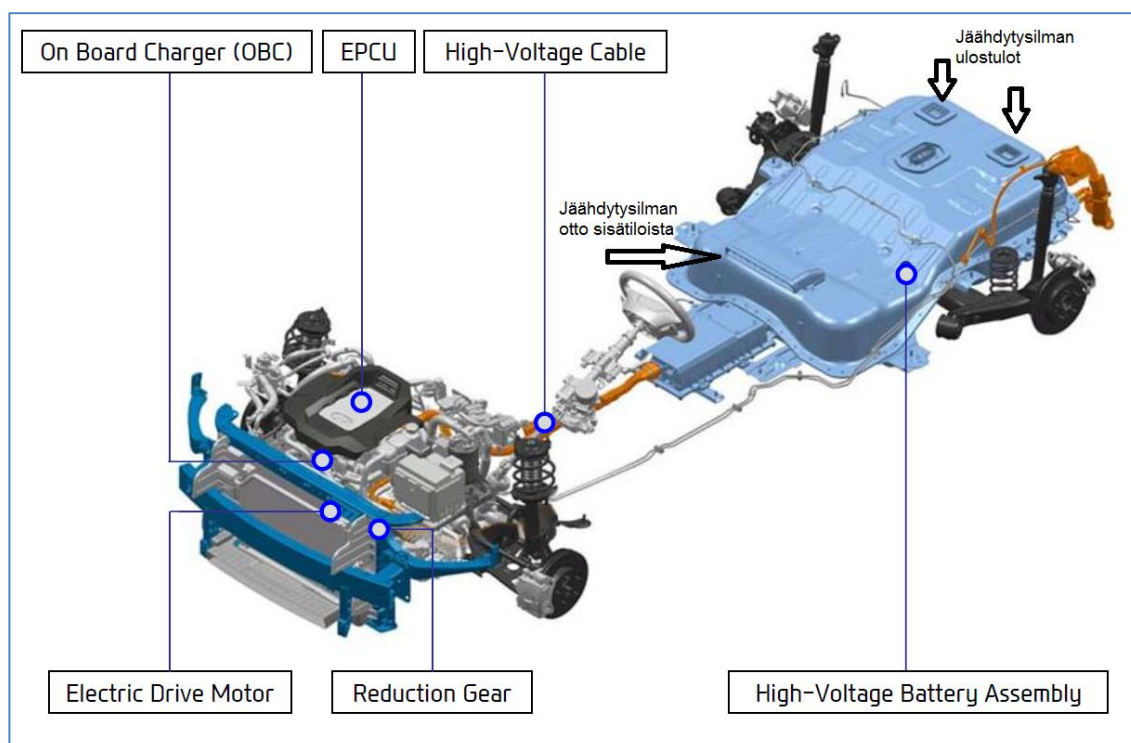
8.5.2 Järjestelmän toiminta

Järjestelmä toimii ajon aikana siten, että ilmalämmitin käynnistetään tai ajastetaan käynnistymään haluttuun aikaan MultiControl-käyttölaitteella. Käyttölaitteesta valitaan myös sisätilojen haluttu lämpötila. Auton omasta ilmastointijärjestelmästä on mahdollista kytkeä PTC-lämmitin ajon aikana kokonaan pois päältä, ja siten kasvattaa ajosädetä. Air Top Evo-lämmittimen tuottama lämpö ohjataan kuljettajan ja etumatkustajan jalkatiloihin, ja auton omalla sisäkierrolla ohjataan puhallusilma ja lämpö haluttuun paikkaan. (Puolitaival 2018).

Käytännön kokemukset ja laboratoriotestit asennuksesta osoittivat, että 4 kW tehoinen Air Top Evo 40-lämmitin ei yksinään riitä ainakaan vuoden 2015 e-NV200 Evalia (bussimalli) sisätilojen lämmittämiseen yli -15 °C pakkasilla suurien sisätilojen ja ikkunapintojen vuoksi. Liian pienen ilmalämmittimen käyttö aiheutti sen, että ajettaessa sisätilat eivät olleet varsinaisesti lämpimät, mutta esimerkiksi liikennevaloihin pysähdyttyessä lämmöntunne kasvoi selkeästi. (Puolitaival 2018). Air Top Evo 55-lämmitin olisi siis suuremman tehonsa vuoksi parempi vaihtoehto e-NV200 bussimallin sisätilojen lämmittämiseen.

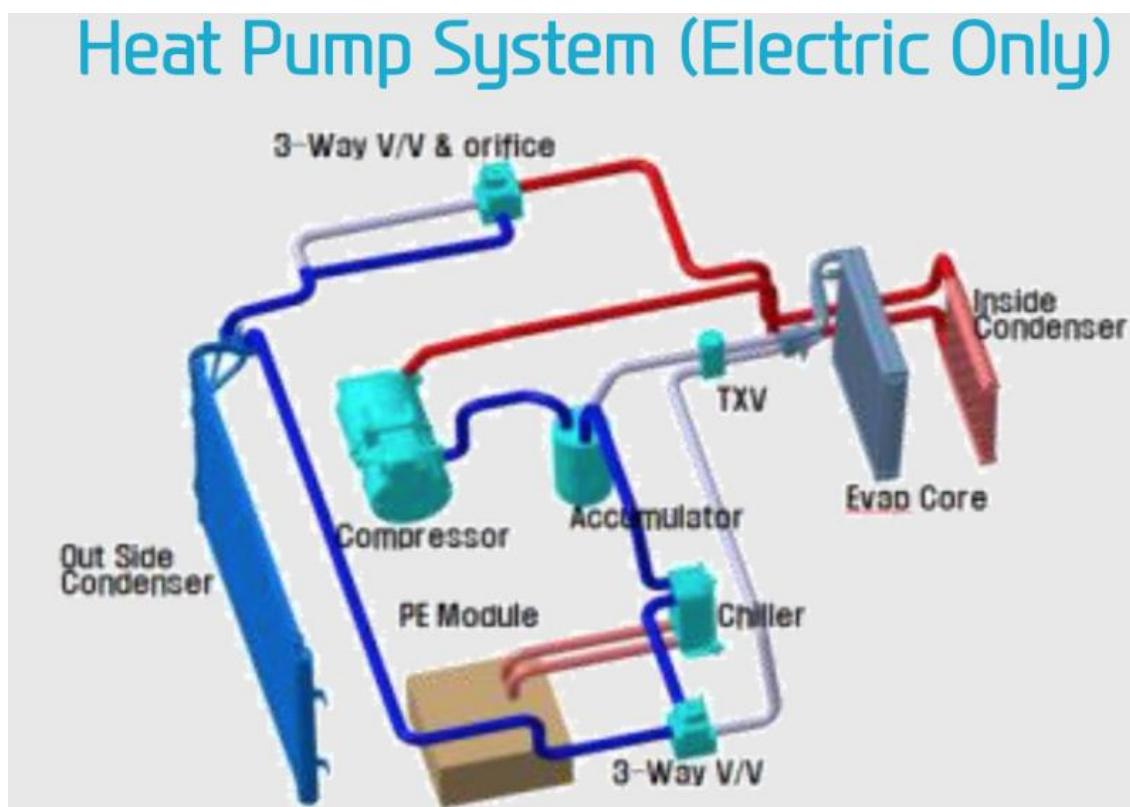
8.6 Hyundai Ioniq

Hyundai Ioniqin sähköversiossa käytetään lämpöpumppua sisätilojen lämmitykseen. Kylmempiä olosuhteita varten autossa on myös Sippolan (2018) mukaan PTC-lämmitys. Akusto on ilmajäähdytteinen. Akustoon puhallettava ilma otetaan järkevästi sisätiloista, koska ihmiskehon sisätiloihin haluama lämpötila on samaa luokkaa halutun akuston lämpötilan kanssa kaikissa ajo-olosuhteissa. Akustoa viilentävä ilma johdetaan akuston takaosasta pois. (Nisewanger 2017; Sippola 2018). Kuviossa 67 on nähtävissä akkukotelon etureunassa ilmanottokanava ja kotelon takareunassa kaksi ilmanpoistokanavaa.



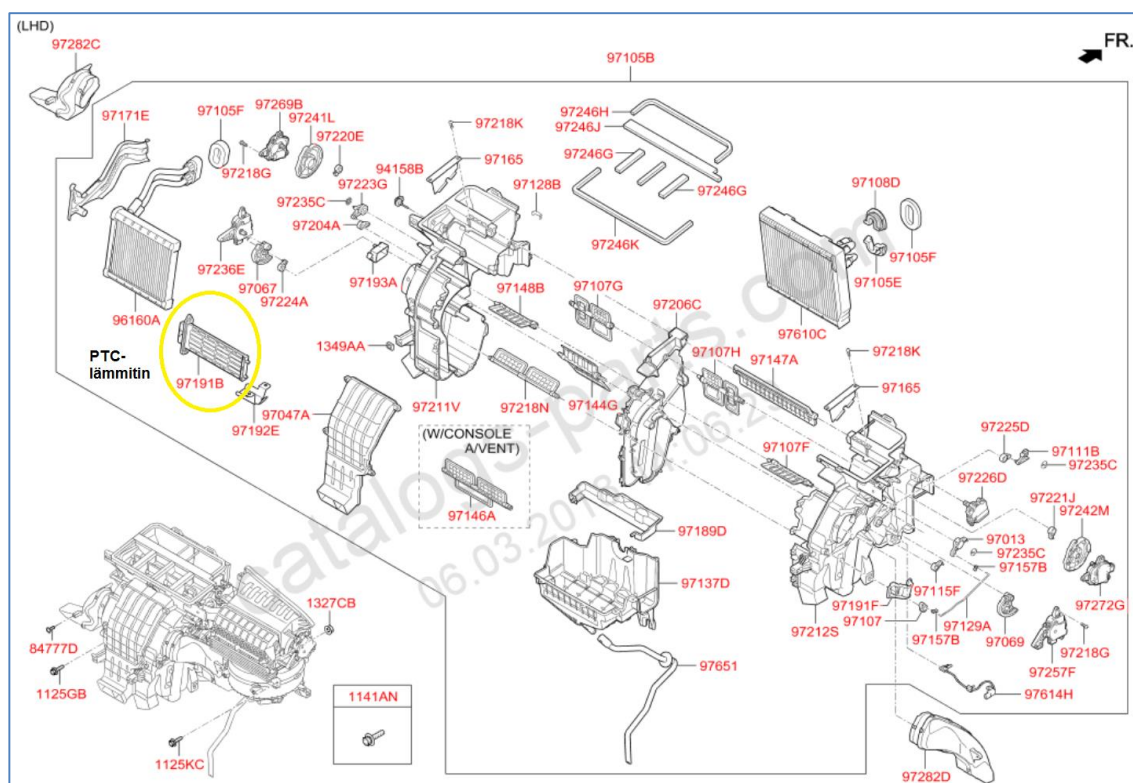
KUVIO 67. Hyundai Ioniq electricin korkeajännitekomponentit (Emergency Response Guide 2016, muokattu)

Hyundain lämpöpumppujärjestelmä kerää hukkalämpöä sähköisen tehonsiirron komponenteilta. Green Car Congressin (2017) mukaan järjestelmä lisää 0 °C lämpötilassa Ioniqin ajosädetä 14 % PTC-lämmitykseen verrattuna. (Green Car Congress 2017; Sippola 2018). Järjestelmän komponentit on esitetty kuviossa 68. Järjestelmä kerää komponenttien tuottamaa hukkalämpöä jäähdytysnesteeseen ja luovuttaa sen kylmäaineeseen ”chiller”-komponentin kautta. Lämpö luovutetaan sisätilojen lauhduttimen kautta suoraan sisäilmaan.



KUVIO 68. Hyundai Ioniq Electricin lämpöpumpputjärjestelmän osat (Green Car Congress 2017)

Catalogs-parts varaosaportaalin (2018) räjäytyskuvista ilmenee, että Ioniqissa käytettävä sähkölämmitin on ilmasta ilmaan-tyyppinen PTC-vastus, jonka varaosanumero on 97191G7000. PTC-lämmitin on esitetty korostettuna kuviossa 69.



KUVIO 69. Hyundai Ioniq electric ilmastointi- ja lämmityslaitteen osat (Catalogs-parts 2018, muokattu)

Hyundain tapauksessa vesilämmittimen voisi siis integroida ainoastaan sähköisen tehonsiirron komponenttien nestekierto. Ainakin periaatteessa lämmittämällä jäähdytysnestettä lämpö siirtyisi lämmönvaihtimen kautta kylmäaineeseen ja lämpöpumppua voitaisiin pitää päällä. Lämpöpumpun toimivuudesta tällaisella lämmityksellä ei ole kuitenkaan mitään takeita ilman tarkempia tutkimuksia, eikä se todennäköisesti toimisi ainakaan hyvällä hyötysuhteella. Sippolan (2018) mukaan ajomoottorin ja muiden sähköisen tehonsiirron komponenttien esilämmityksestä ei saavuteta mitään hyötyä, ja asiantuntijaneukemysten (Puolitaival 2018; Sippola 2018) mukaan tällaisen järjestelmän asentamista ei kannata kaupallisessa tarkoituksessa edes yrittää.

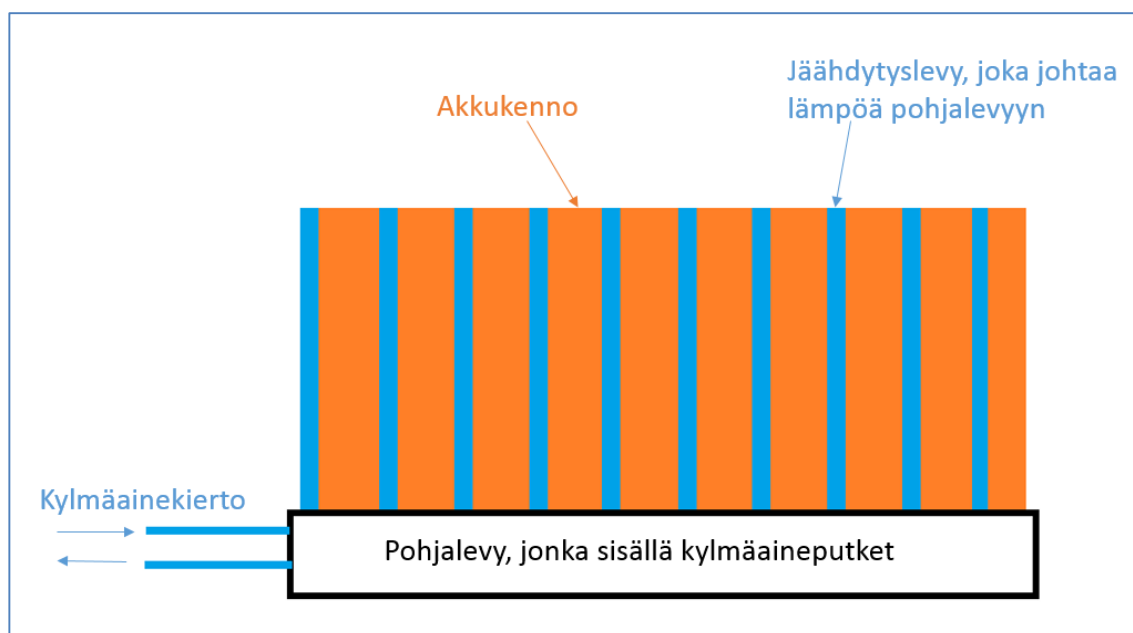
Ilmalämmitin lienee siis yksinkertainen, tehokkain ja toimivin ratkaisu myös Ioniqiin. Akuston lämmönhallintaan voidaan vaikuttaa ainakin välillisesti ilmalämmityksellä, koska akustoa viilentävä tai lämmittävä ilma otetaan matkustamotiloista. Tämän vuoksi ilmasuulakkeiden sijainnit ja muut seikat tulisi ottaa asennuksessa tarkasti huomioon, jotta akustoa ei lämmittäisi epähuomiossa yli + 40 °C lämpötilaan.

8.7 BMW i3 ja i3 REx

BMW valmistaa i3-sähköautoaan joko toimintasäteen pidentäjällä, eli Range Extenderillä (REx) tai ilman. Range Extender on BMW GTX 650-skoosterista modifioitu bensiinimoottori, joka tuottaa sähköä pyörittämällä generaattoria. Koko moottorin ja generaattorin yhdistelmä toimii siis aggregaattina, jonka avulla voidaan kasvattaa toimintasädettä. Järjestelmässä on 9 litran polttoainesäiliö Pohjois-Amerikan markkinoilla. (Munro & Associates Inc. 2015).

Koska polttomoottorin ja sähköauton yhdistelmät ovat yleisesti ajateltuna hybridiautoja, i3 REx-malli tulisi opinnäytetyön johdannossa käytyjen seikkojen perusteella rajata pois. RExin toiminta on kuitenkin erilaista esimerkiksi Toyota Priuksen kaltaisiin perinteisiin hybridiautoihin verrattuna, sillä polttomoottori ei lähtökohtaisesti käynnisty esimerkiksi kiihdytyksen aikana. Range Extender kytkeytyy BMW:n (2018) mukaan vain silloin, kun akku alkaa olemaan vähissä. REx ei ole mekaanisesti yhteydessä voimansiirtoon, vaan polttomoottori tuottaa sähköä, jonka avulla ajamista voidaan jatkaa niin kauan, kuin polttoainetta vain riittää. Täyssähköautoksi luokittelemista tukee myös suuri akusto ja sillä saatava polttoainekäyttöä suurempi sähköinen ajosäde (Munron & Associates Inc. 2015). Siksi BMW i3 REx-malli kannattaa mieltää hybridiauton sijaan sähköautoksi, jossa on aggregaatti.

Akuston lämmönhallinta on molemmissa i3-malleissa siinä mielessä kytköksissä sisätilojen lämmönhallintaan, että akustoa viilennykseen hyödynnetään auton ilmastointijärjestelmää. Akusto koostuu kahdeksasta erillisestä moduulista, jotka makaavat ristikkomaisen ilmastointiputkiston päällä. Järjestelmä käyttää jäähdytystä haihduttimen putkilla (direct expansion cooling), jossa ilmastointiputkisto viilentää suoraan akkumoduulien alumiinirunkoa. Akustossa syntyvä lämpö johtuu alumiiniputkien kautta kylmäainekierto. (Bower & Ritter 2015). Haihduttimen putkilla tapahtuvan jäähdytyksen rakenne on esitetty kuviossa 70.



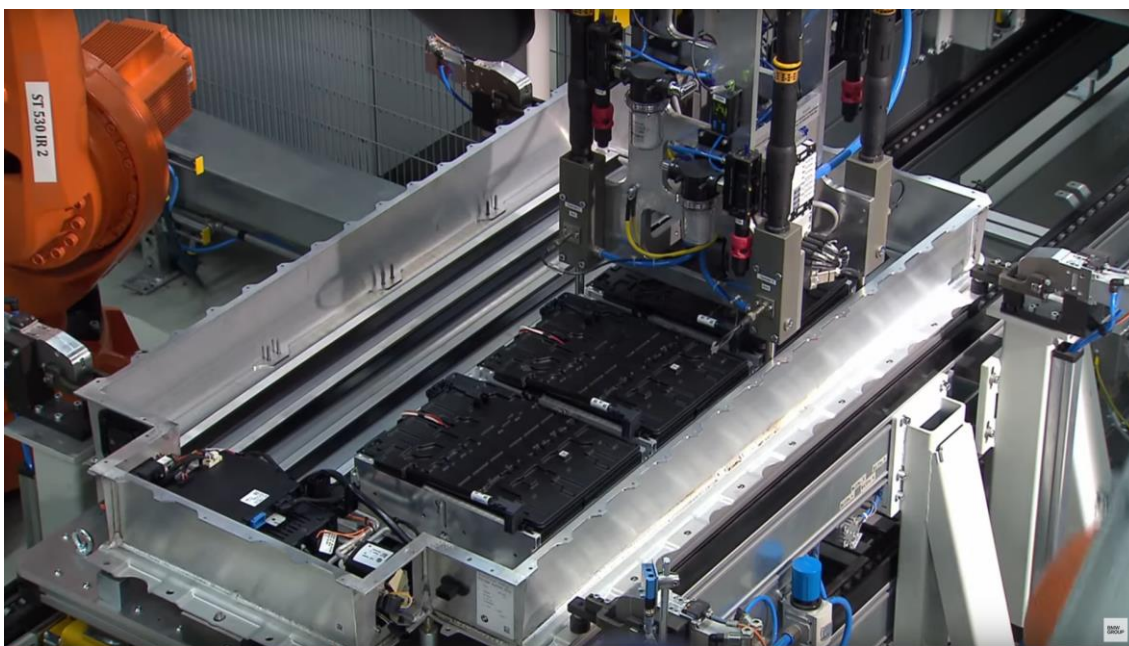
KUVIO 70. Haihduttimen putkilla tapahtuvan jäähdytyksen yksinkertaistettu rakenne

Amerikkalainen insinööritoimisto Munron & Associates Inc. on tehnyt kattavan tutkimuksen (2015) i3:n rakenteesta. Yrityksen mukaan BMW:n akuston jäähdytyspiirissä on kaksi rinnakkaista kylmäainepiiriä. Putkisto asennetaan alumiinirunkoiseen akkukotelon pohjalle viilentämään akkumoduuleita. Haihduttimen putkisto on esitetty kuvassa 14.



KUVA 14. BMW i3:n akuston jäähdytysputkisto (Bower & Ritter 2015)

Akkumoduuleita on akustokotelossa yhteensä kahdeksan. Alla olevassa kuvassa 15 on kuvakaappaus akuston valmistusvaiheesta. Kuvan 14 jäähdytysputkisto on erotettavissa mustina pitkittäisinä raitoina kotelon pohjalla.

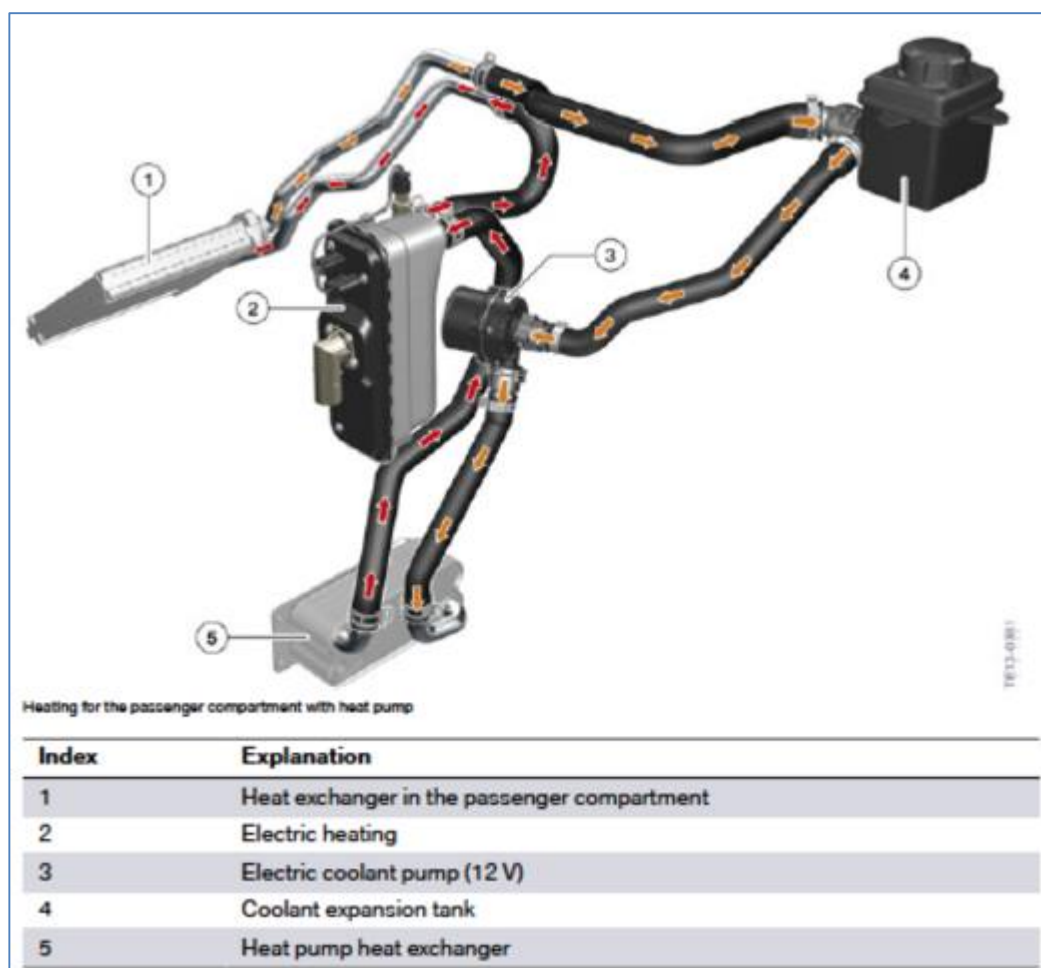


KUVA 15. BMW i3 akusto kokoonpanovaiheessa. Robotti kiinnittää kolmatta akkumoduulia koteloon. (BMW Group 2014.)

Munron & Associatesin (2015) mukaan akustoa pystytään myös kylmissä oloissa lämmittämään 1000 W tehoisella sähkölämmittimellä. Haihduttimen putket toimivat tässä tapauksessa lämmönjohtimina.

Auton sisätilojen lämmitys on tehty korkeajännitteisellä lämmitysvastuksella, joka lämmittää suoraan nestekiertoa. McKinsey & Companyn (2017) sekä kuvion 64 mukaisesti myös akuston lämmitys onnistuu ilmastointijärjestelmän avulla. Tämä tarkoittaa sitä, että akuston ilmastointijärjestelmässä olisi tarvittavat kylmäaineen kiertosuunnan vaihtavat venttiilit. Akuston ilmastointijärjestelmä olisikin siis todellisuudessa lämpöpumppujärjestelmä.

Sisätilojen lämmitykseen i3:ssa on mallista riippuen sähköisen nestelämmittimen lisäksi myös lämpöpumppu (myBMW*i3.com*). Lämpöpumppu on tyypiltään RealOEM.com (2018) varaosakuvista pääteltynä ilma-vesilämpöpumppu, eli samanlainen kuin alaluvun 3.4.2 MHI:n järjestelmä. Sisätiloja lämmittävässä jäähdytysnestekierrossa on lauhdutin/lämmönvaihdin, joka luovuttaa kylmäaineessa olevan lämmön jäähdytysnesteeseen. Samassa piirissä on myös nestettä lämmittävä PTC-vastus. Jäähdytysneste ohjataan lämmittimen kennolle, josta lämpö siirretään sisäilmaan. Nestekierto on esitelty kuviossa 71.



KUVIO 71. BMW i3 lämmitysjärjestelmä, sisältäen ilmalämpöpumpun lämmönvaihtimen (5) ja lämmittimen (2) (myBMWi3.com 2014)

Niissä malleissa, joissa on Range Extender, ei ole lämpöpumppua lainkaan, koska sille ei ole polttoainetankin ja polttomoottorin lisäämisen myötä tilaa. REx-mallien sisätilojen nestekierto onkin yksinkertaistettu kuvion 71 järjestelmästä, sillä niissä ei ole lainkaan lämpöpumpun lämmönvaihdinta. (myBMWi3.com 2014). Sisätiloja lämmitetään siis kuvion 72 mukaisesti ainoastaan PTC-lämmityksellä.


4.6. Heating circuit for i01 with range extender

The passenger compartment is heated using electric heating by a heater circuit filled with coolant. The electric heating is supplied with energy via the high-voltage system.

Cooling circuit for electric heating

The coolant is drawn in from the expansion tank by the electric coolant pump and pumped to the electric heating. In the electric heating the coolant is heated to the desired customer temperature and conveyed further to the heat exchanger in the passenger compartment. The heat exchanger installed in the heating and air-conditioning unit conveys the heat from the flowing coolant to the air flowing through. Then the coolant flows back to the expansion tank, whereby the cooling circuit closes.

Note: Use special "Coolant concentrate i3".



Heating for the passenger compartment in i01 with range extender

Index	Explanation
1	Heat exchanger in the passenger compartment
2	Electric heating
3	Electric coolant pump (12 V)
4	Coolant expansion tank

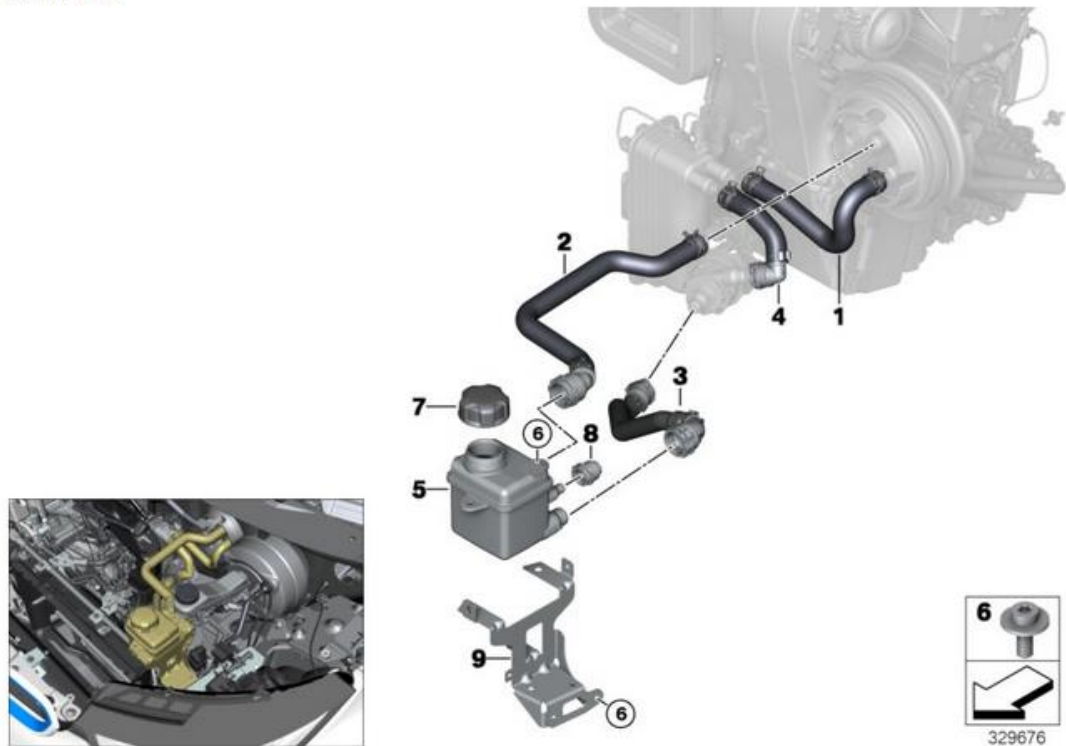
KUVIO 72. BMW i3 REx sisätilojen lämmitys sähköisellä vastuksella (myBMWi3.com 2014)

Webasto-asennuksen hyöty REx-malleihin voisi olla aluksi kyseenalaistettavissa, koska niissä on jo valmiiksi polttomoottori mikä tuottaa käydessään lämpöä. Vaikka tämä pitääkin paikkaansa, ei polttomoottorin jäähdytysnestekierto ole RealOEM.com (2018) varaosakuvien perusteella mitenkään kytköksissä sisätilojen lämmityskiertoon. RExin tuottamaa lämpöä ei siis voida hyödyntää sisätilojen lämmitykseen. Sisätilojen nestekierrolle ja polttomoottorin nestekierrolle on omat piirinsä ja omat jäähdytysnesteen paisuntasäiliönsä, kuvioiden 73 ja 74 mukaisesti.

i3 I01 LCI i3 94Ah Rex Water hoses

[Select another car](#) > [Heater and Air Conditioning](#) > [Water pump, valve, hoses](#)

Sponsored links

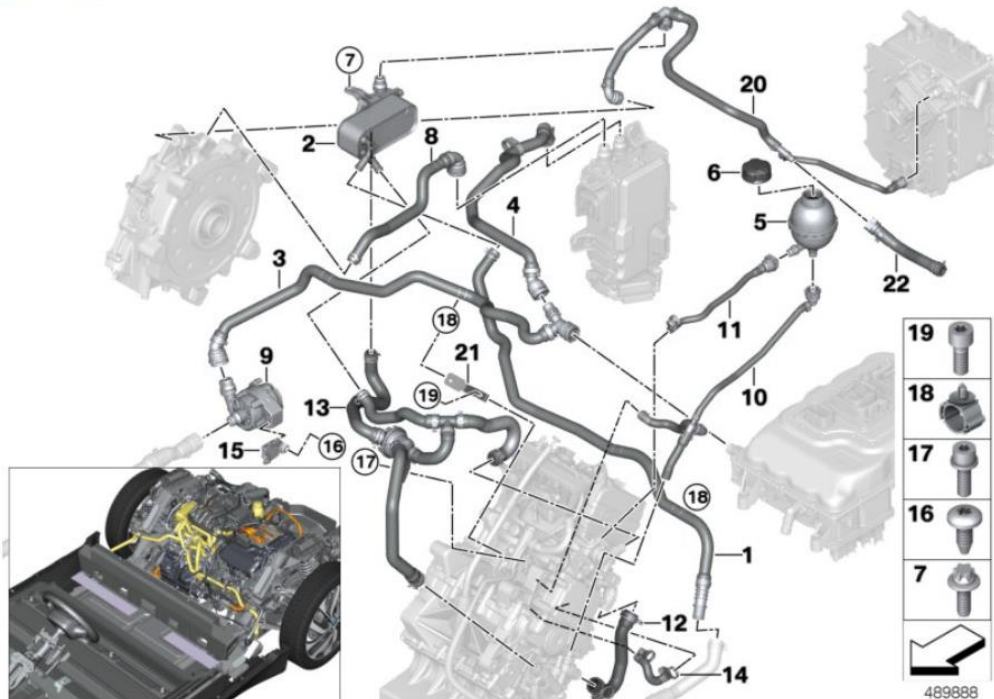


KUVIO 73. BMW i3 REx sisätilojen lämmitys ja polttomoottorin jäähdytys (RealOEM.com 2018)

i3 I01 LCI i3 94Ah Rex Cooling system coolant hoses

[Select another car](#) > [Radiator](#) > [Cooling system coolant hoses](#)

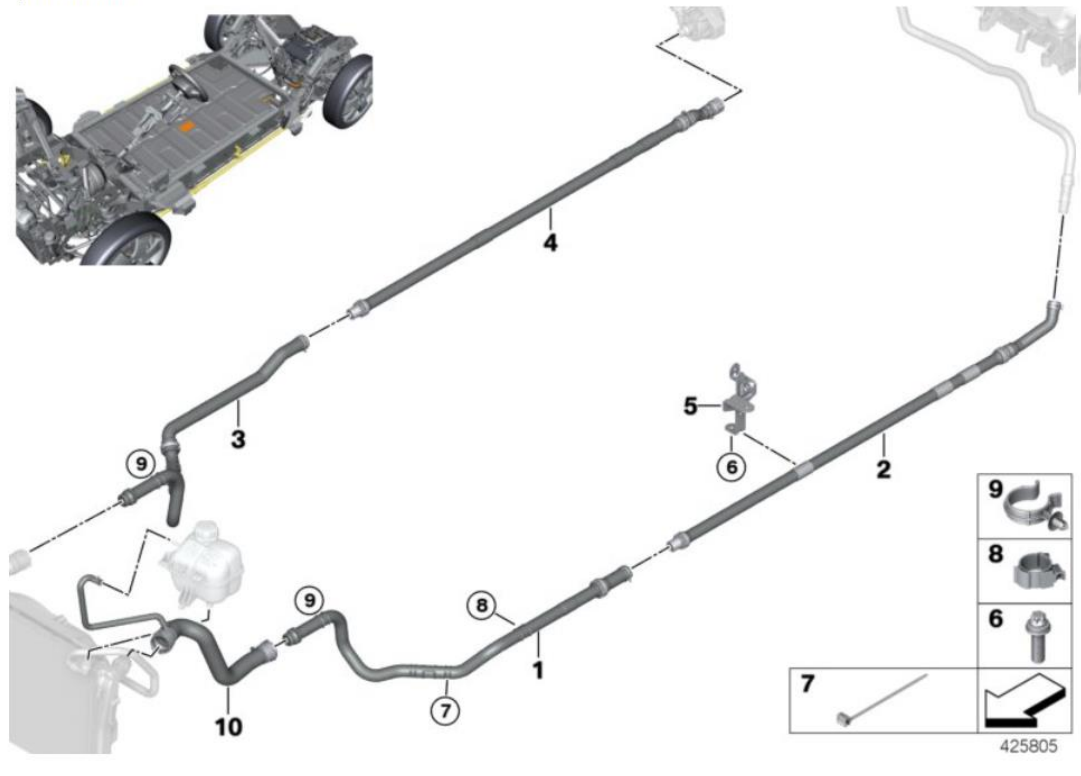
Sponsored links



i3 I01 LCI i3 94Ah Rex Cooling system coolant hoses

[Select another car](#) > [Radiator](#) > [Cooling system coolant hoses](#)

Sponsored links



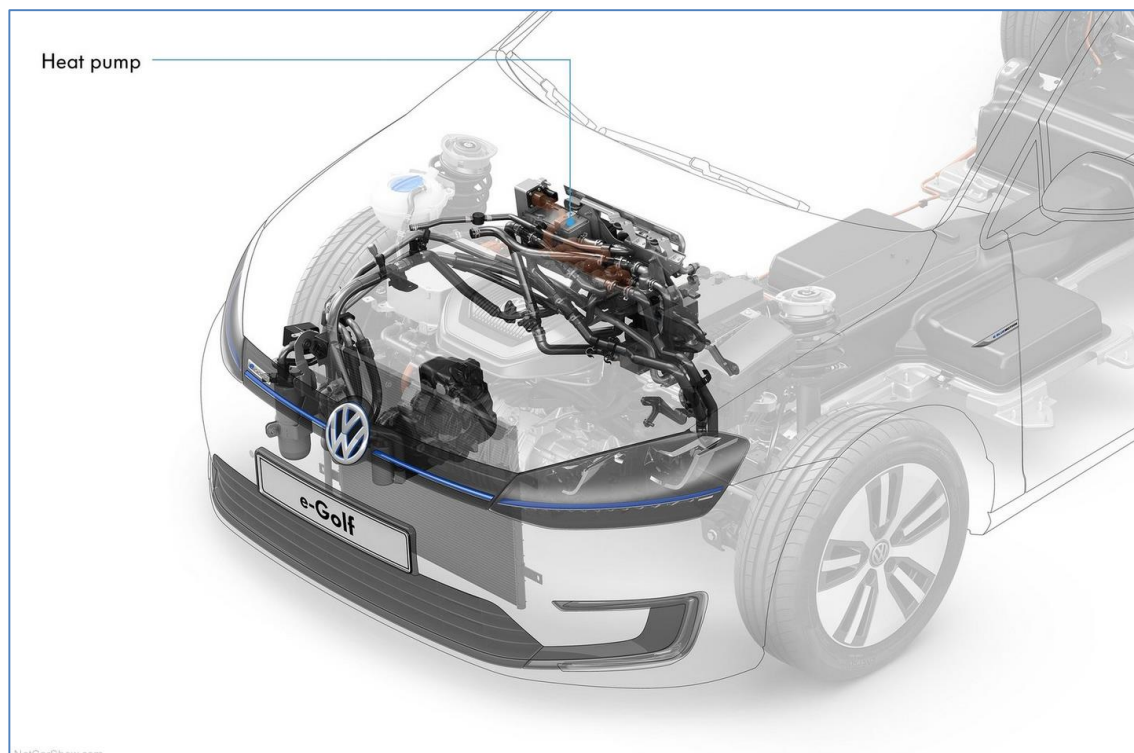
KUVIO 74. BMW i3 REx polttomoottorin ja sähköisten tehonsiirron komponenttien jäähdytysnestekierron osat (RealOEM.com 2018).

Kuviossa 74 on polttomoottorin jäähdytysnesteletkujen lisäksi nähtävissä sähköisen tehonsiirron komponenttien jäähdytysnesteiden kierron letkuja. Molemmille nestekiertoille on kuvion 74 yläpuoliskossa lämmönvaihdin (2), jossa sähköisiä komponentteja viilentävä neste ja polttomoottorin jäähdytysneste kulkevat limittäin. Jäähdytysnesteletku (13) on varustettu termostaatilla, joka saa ilmeisesti aikaan piirien ”sekoittumisen” kun lämpötila on riittävä. Jäähdytysneste ohjataan auton keulalla olevalle jäähdyttimelle kuvion 74 alemman puoliskon mukaisesti. Tässä kuviossa on nähtävissä myös harmaalla paisuntasäiliö, joka on siis eri säiliö kuin kuviossa 73 nähtävä sisätilojen nestekierron säiliö.

Koska BMW käyttää i3:ssa lämmitykseen erillistä nestekiertoa, on sisätilojen lämmittäminen vesilämmittimellä mahdollista ja hyödyllistä niin normaalissa, kuin myös REx-mallissa. Lämmitin olisi paras asentaa nestekiertoa ennen PTC-lämmitintä, jotta PTC lämpenisi mahdollisimman nopeasti, eikä kuluttaisi kuumennettuaan akustosta virtaa. REx-malleissa polttomoottorin esilämmitystä ei lähtökohtaisesti pysty yhdistämään sisätilojen lämmitykseen, koska jäähdytysnesteiden kierrot ovat erillisiä. Polttoaineen otto lämmitintä varten olisi REx-mallissa helppoa, koska autossa on jo valmiiksi polttoainesäiliö.

8.8 Volkswagen e-Golf

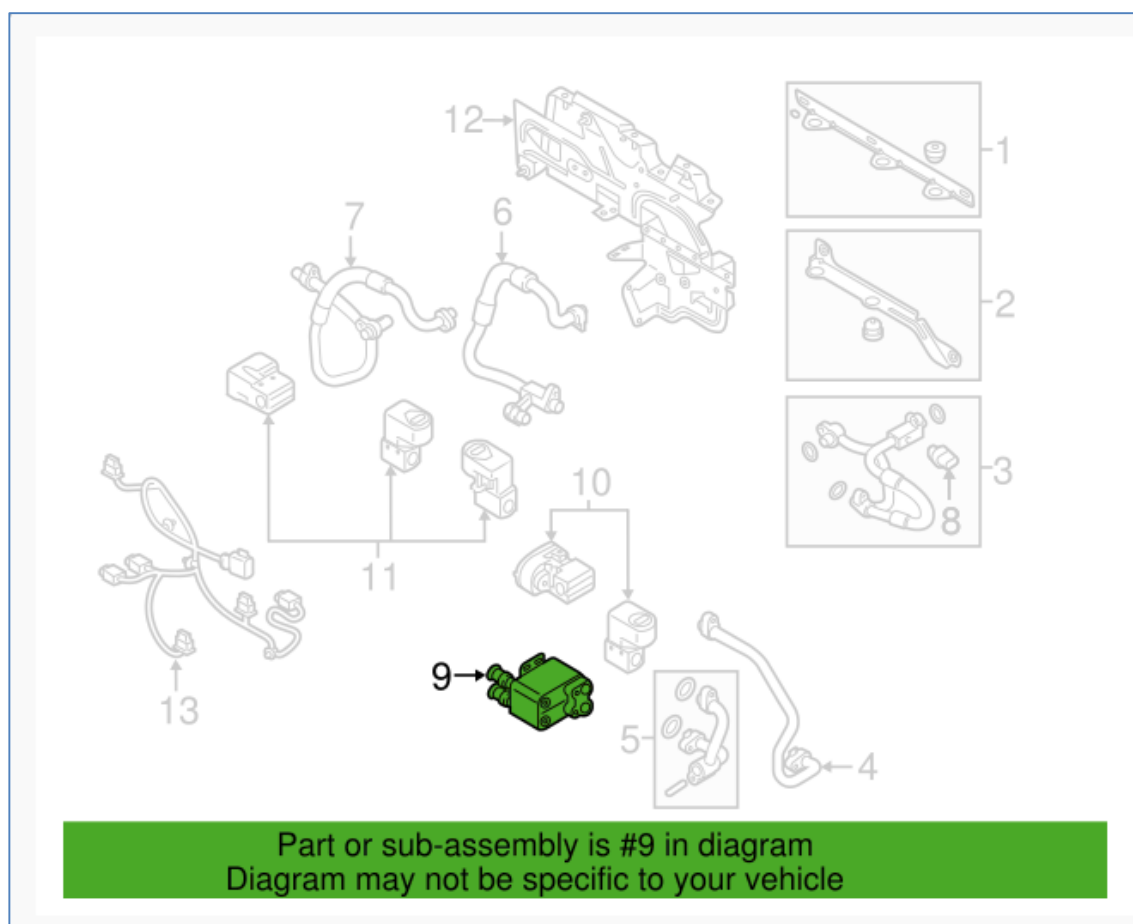
Volkswagen on kehittänyt sisätilojen lämmitykseen e-Golfia varten lämpöpumpun (VW Canada 2017). Järjestelmässä on myös PTC-vastus lämpöpumpun ohella, koska e-Golfissa kerrotaan olevan sähköisen lämmityksen lisäksi myös muita komponentteja, jotka takaavat sisätilojen lämmityksen. Näitä komponentteja ovat esimerkiksi lämpöpumppu ja istuinlämmittimet. (Volkswagen e-Golf - The intelligent heating system 2014, 1:20). Lämpöpumppujärjestelmä kerää hukkalämpöä sähkömoottorilta (VW Canada 2017). Nestekiertoisen sähköisen voimalinjan hukkalämpöä johdetaan siis lämpöpumpun kylmäainepiiriin lämmönvaihtimen avulla, aivan kuten Hyundai Ioniqin järjestelmässä. Lämpöpumpun sijainti on esitetty kuviossa 75.



KUVIO 75. VW e-Golfin ilmalämpöpumpun sijainti (Netcarshow.com 2015, muokattu)

E-Golfissa ei ole Partslink24-varaosaporttiin (2018) kuvista tulkittuna omaa sisätilojen lauhdutinta lämpöpumppujärjestelmälle. Ainoa sisätiloissa oleva lämmönvaihdin on nestekiertoisen lämmittimen kenno. Tämän vuoksi lämpöpumppu tarvitsee myös toisen vesikylmäaine lämmönvaihtimen, josta lämpö siirretäisiin jäähdytysnesteeseen ja tätä kautta sisätiloihin. Järjestelmän on oltava siis alaluvun 3.4.4 vesi-vesi lämpöpumpun kaltainen.

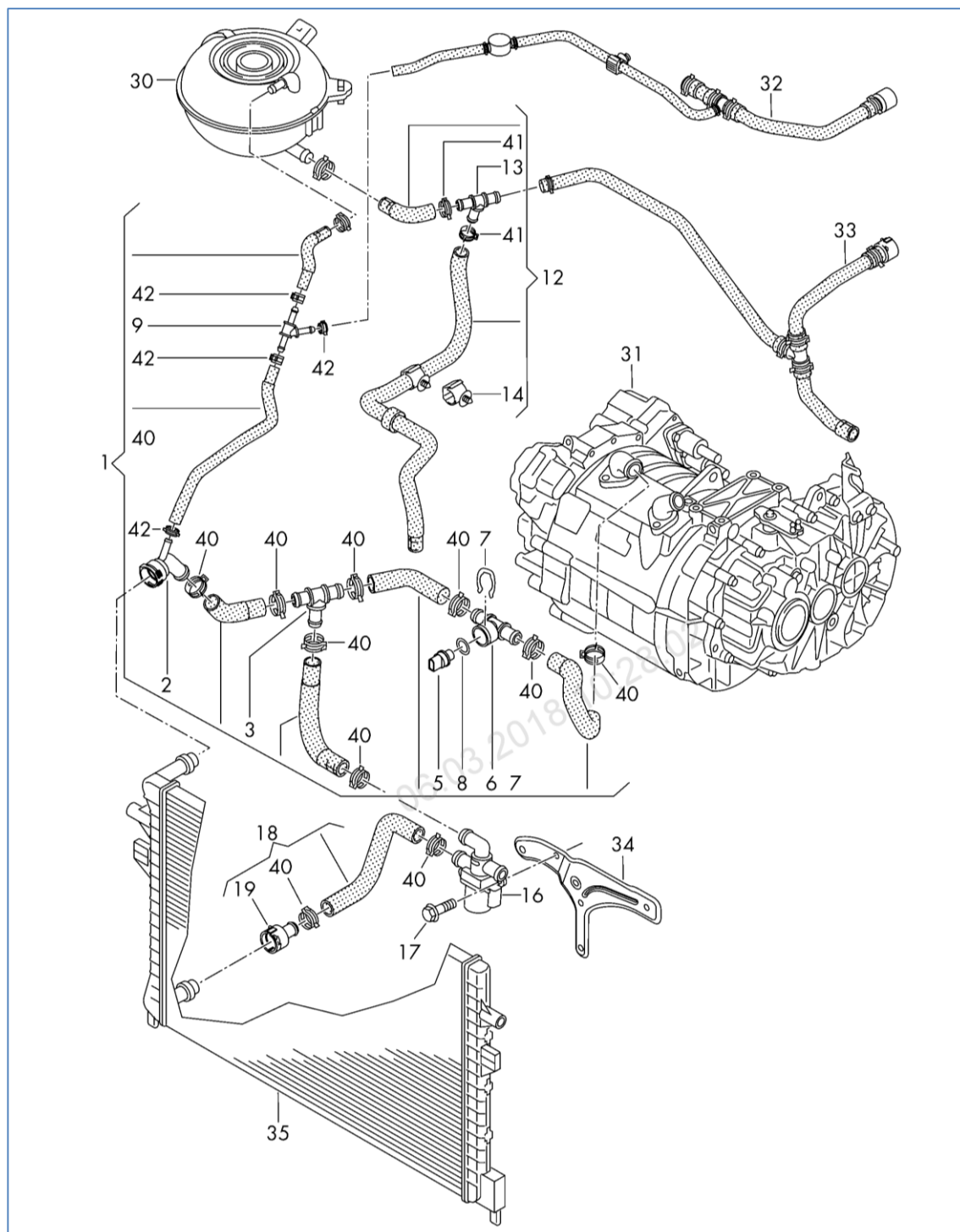
Eräs lämpöpumppujärjestelmän lämmönvaihdin on nähtävillä Partslink24-varaosaportaalissa (2018). Portaali ei kuitenkaan kerro, onko varaosakuviissa nähtävä lämmönvaihdin jäähdytysnesteestä hukkalämpöä kylmäaineeseen keräävä lämmönvaihdin, vai kylmäaineesta lämmön jäähdytysnesteeseen luovuttava lämmönvaihdin. Toista lämmönvaihdinta ei Partslinkistä, tai muista varaosaporttaaleista löydy. Partslink24-portaalin kuvaa vastaava räjäytyskuva mainitusta lämmönvaihtimesta on saatavilla myös Quirkparts.com-sivustolta (2018). Lämmönvaihdin 5QE 819 030 on esitetty korostettuna kuviossa 76.



KUVIO 76. Volkswagen e-Golf lämpöpumpun lämmönvaihdin (Quirkparts.com 2018)

Vaikka PTC-lämmitintä ei ole merkitty kuvioon 76, se sijaitsee fyysisesti samassa yhteydessä lämpöpumpun lämmönvaihtimen kanssa (Partslink24 2018).

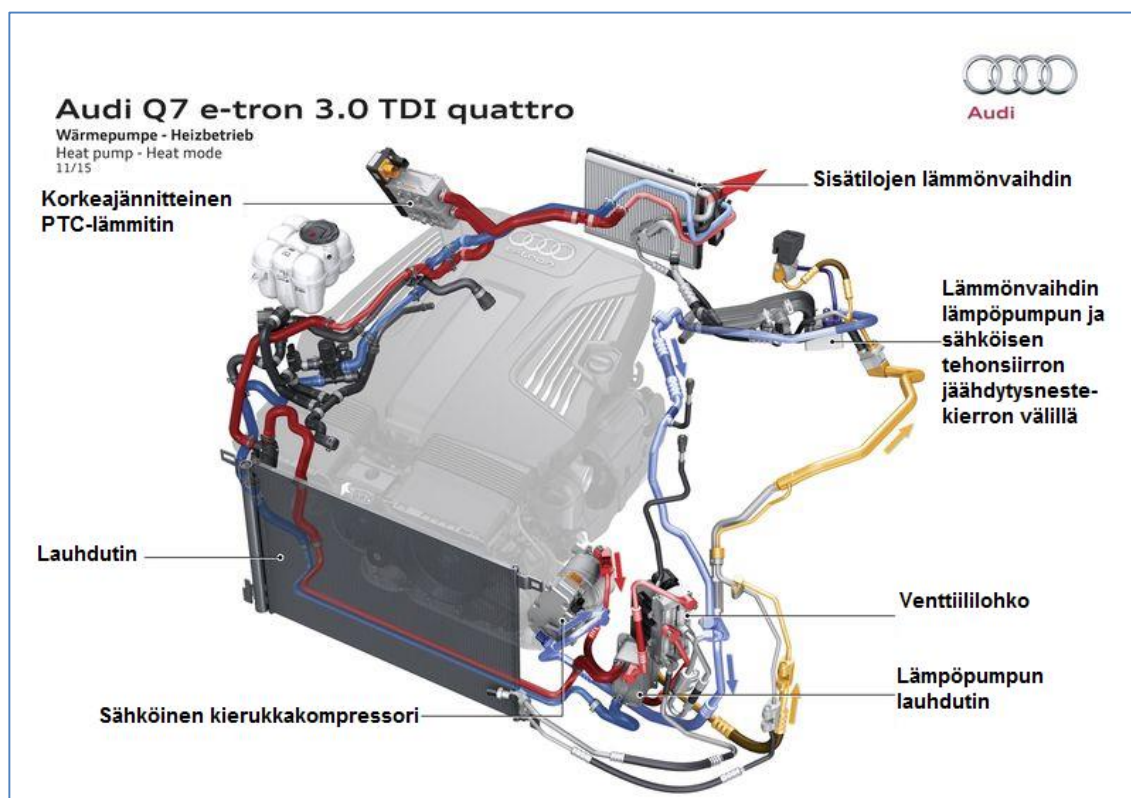
Toisin kuin BMW:ssä, Volkswagen on suunnitellut jäähdytysnestekierron niin, että sähkömoottorin ja sähköisen tehonsiirron komponenttien jäähdytys on osittain samassa piirissä sisätilojen lämmityksen kanssa. Partslink24-sivun räjäytyskuvista voi nähdä hieman monimutkaisen ja useasti haaroittuvan yhteisen nestekierron. 7zap.com-sivustolla on nähtävillä vastaava rakennekuva. Sähkömoottorin jäähdytysjärjestelmän letkut on esitetty kuviossa 77.



KUVIO 77. VW e-Golf sähköisen tehosiirron jäähdytys (7zap.com 2018)

Kuvion 77 letkukokonaisuudet (32) ja (33) jatkavat varaosaportaalissa seuraavissa räjäytyskuvissa lämpöpumpun lämmönvaihtimen ja sähköisen lämmittimen kautta sisätiloihin lämmittimen kennolle.

Lämpöpumppujärjestelmän toimintaperiaatteesta ei ole saatavilla tarkempia tietoja, mutta koska lämmittimen kenno ja PTC-lämmitin ovat nestekiertoisia, e-Golfin lämpöpumppujärjestelmä tarvitsee toisen lämmönvaihtimen kerätäksään hukkalämpöä sähköiseltä tehonsiirrolta. VAG-konsernin sisällä on kehitetty tällainen järjestelmä, sillä Audi Q7 e-tron-hybridiautossa käytetään hukkalämpöä keräävää lämpöpumppujärjestelmää. Järjestelmän toimintaperiaate lämmityskäytössä on esitetty kuviossa 78.

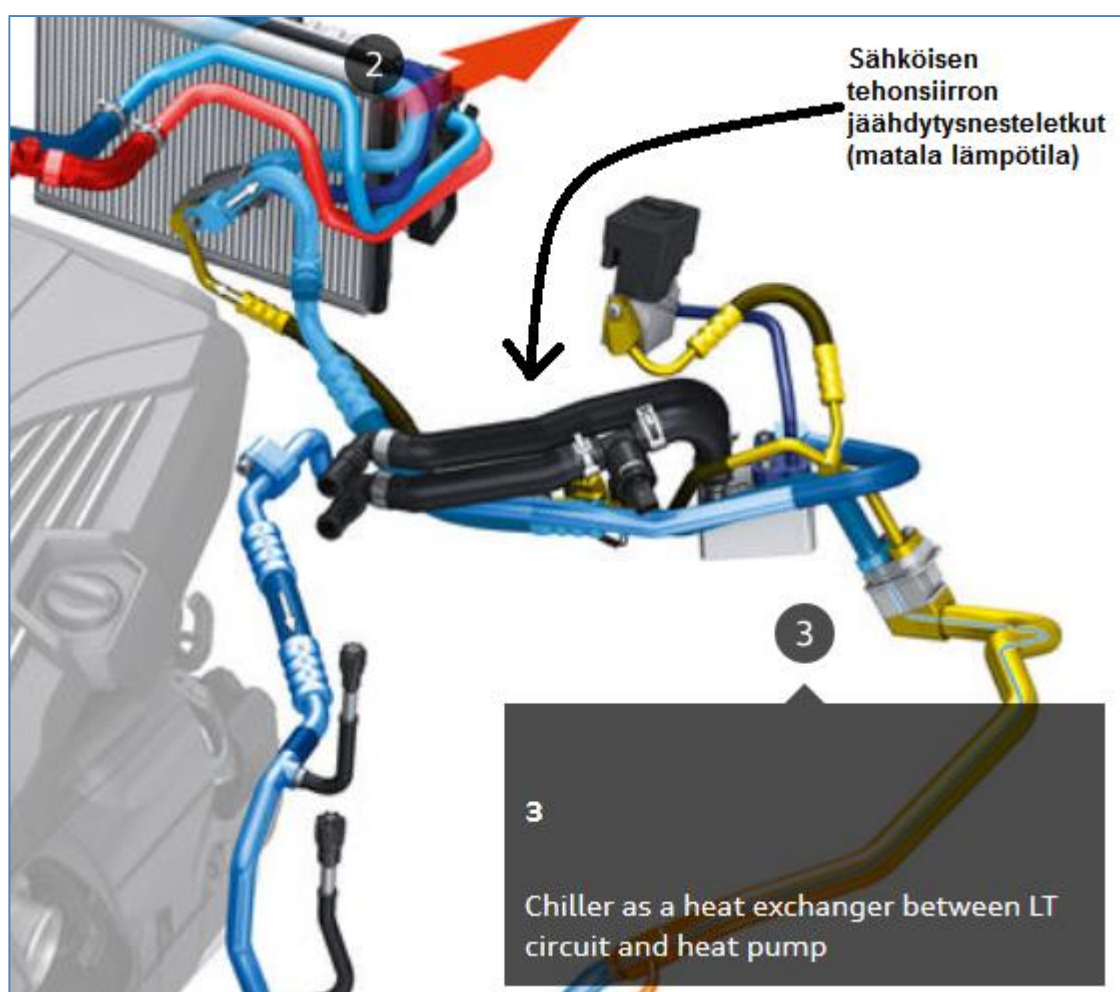


KUVIO 78. Audi Q7 e-tron lämpöpumppujärjestelmä lämmityskäytössä (Green Car Congress 2015, muokattu)

Vaikka Q7 e-tron on hybridiauto, on hukkalämpöä keräävän ja nestekiertoista lämmitystä lämmittävän lämpöpumppujärjestelmän toiminta havainnollistettavissa kuviosta 78. Järjestelmän peruseriaate ja komponentit ovat samankaltaiset kuin e-Golfissa. Venttiililohkon yhteydessä on lämpöpumpun lauhdutin, jossa kylmäaine luovuttaa kompressorin tuottaman lämmön sisätilojen jäähdytysnestekierto. Lauhtunut kylmäaine tiivistyy, ja kulkeutuu tämän jälkeen korkeapaineisena nesteinä sähköiselle paisuntaventtiilille. Paisuntaventtiili pudottaa kylmäaineen paineen, jolloin sen lämpötilakin putoaa. Lämmönvaihdin sähköisen tehonsiirron viilennyksen ja lämpöpumpun välillä saa aikaan sen, että sähköisiltä komponenteilta tuotettu hukkalämpö kuumentaa kylmäainetta niin, että se

höyrystyy. Jäähdytysnesteen lämpötila putoaa lämmönvaihtimessa 3 ... 5 °C. Höyrystynyt kylmäaine kulkeutuu tämän jälkeen takaisin kompressorille. (Köbler n.d.).

Hukkalämpöä keräävä lämmönvaihdin ja sähköisen tehosiirron jäähdytysjärjestelmän letkut on esitelty tarkemmin kuviossa 79. Lämmönvaihtimen Audi-varaosanumero on 4M0 816 115, ja se on komponenttina hieman erilainen muotoinen kuin aiemmin esitelty e-Golfin lämmönvaihdin. Osien liitännät ja toimintaperiaate ovat kuitenkin erittäin todennäköisesti toisiaan vastaavat.



KUVIO 79. Suurennos lämpöpumppujärjestelmän hukkalämpöä kylmäaineeseen siirtävästä chiller-lämmönvaihtimesta (Köbler n.d., muokattu)

Koska kylmäaineen lämpötila on noussut ennen päätymistään takaisin kompressorille, se kuumenee puristettaessa korkeampaan lämpötilaan ja järjestelmän hyötysuhde paranee. Audin ilmoituksen mukaan yhden kilowatin sähköteholla saadaan 3 kilowatin teholla lämpöenergiaa (Köbler n.d.). Lämpökerroin on siis 3, jota voidaan pitää hyvänä arvona.

Kuten muidenkin autonvalmistajien markkinoinnissa, Audi ei kerro sitä, missä ympäristön lämpötilassa tämä lämpökerroin saavutetaan, tai mikä on järjestelmän maksimissaan tuottama lämpöteho.

Vesilämmittimen integroiminen e-Golfin järjestelmään olisi luultavasti sisätilojen lämmityksen kannalta parhain ja asennuksen kannalta helpoin ratkaisu. Koska sähköisen tehonsiirron jäähdytykselle ja sisätilojen lämmityskierrolle on yhteinen paisuntasäiliö ja osittain samat letkutukset, on mahdollista, että sisätiloja lämmitettäessä osa lämmöstä siirtyy myös sähköisen tehonsiirron komponenttien kiertoon. Vesilämmitin tulisi siksi asentaa nestekierto on ennen sisätilojen lämmittimen kennoa. Sähköisen tehonsiirron komponenttien ylimmät sallitut lämpötilat tulisi varmistaa valmistajalta, ja lämmön jakautumista nestekierrrossa tulisi tarvittaessa tutkia lisää. Mahdollinen ylikuumentuminen tulisi estää jollain tavalla lämmittimen integroimisen yhteydessä. Akusto on McKinsey & Companyn (2017) ja kuvion 64 mukaisesti passiivisesti ilmajäähdytetty, eli Webasto-lämmittimellä ei pystytä vaikuttamaan sen lämpötilaan.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Sähköautojen sisätilojen lämmönhallinta on osa laajempaa kokonaisuutta, jota suunniteltaessa on otettu huomioon sähköauton muiden komponenttien lämmönhallinta. Kaikkien tutkimuksen sähköautojen sisätilojen lämmityksessä on PTC-lämmitys. Tätä avustamassa voi olla lämpöpumppujärjestelmä, joka vastaa pääasiallisesta lämmityksestä etenkin pienillä pakkasilla. Polttoainekäyttöisen lämmittimen ympäristövaikutukset, hyödyt, lakivaatimukset ja integroimisen tavat kullekin tutkimuksen automallille on esitetty omina alalukuinaan tulosten tulkinnan helpottamiseksi. Lisäksi viimeisessä alaluvussa on arvioitu työn onnistumista ja esitetty jatkotutkimusaiheita.

9.1 Ympäristövaikutukset

Jos sähköautoa lämmitettäisiin Webasto-lämmittimellä, sen paikalliset ajonaikaiset hiilidioksidipäästöt olisivat autosta, polttoaineesta, lämmittimestä ja ajonopeudesta riippuvaisia. Hiilidioksidipäästöt riippuvat eniten ajonopeudesta, sillä mitä kovempaa ajetaan, sitä vähemmän hiilidioksidia lämmitin tuottaa täydellä teholla kilometriä kohti. Webasto-lämmittimet tuottaisivat esimerkiksi NEDC-sykliä vastaavalla ajomatalla kylmässä enintään 36 ... 52 grammaa hiilidioksidia per kilometri. Ajonopeuden lisäksi suuri merkitys on myös sillä, että lämmittimen ei tarvitse joka tilanteessa ja ympäristön lämpötilassa käydä täydellä teholla miellyttävän sisätilojen lämpötilan ylläpitämiseksi, vaan lämmitin osaa itse säätää tehoaan mitatun lämpötilan perusteella. Pienempi teho tarkoittaa pienempää polttoaineen kulutusta ja hiilidioksidipäästöjä. Ajonopeuden kasvaessa tosin myös lämmityksen tarpeen voidaan olettaa kasvavan, mikä tarkoittaisi nousevaa polttoaineen kulutusta.

Webasto-lämmittimet tuottavat käydessään hiilidioksidipäästöjen lisäksi lähinnä vain NO_x-päästöjä. Päästöjen ja toimintatavan vertailu polttomoottoreihin osoittaa kuitenkin sen, että palamistapahtuma lisälämmittimessä on erilaista kuin palaminen laihaseospolttomoottoreissa. Typen oksidipäästöt ovat suhteessa polttomoottoriautoihin ja kulutettuun polttoainemäärään pienet. Tieteellinen tutkimus sähköautoon asennetun etanolikäyttöisen

lisälämmittimen päästöistä saksalaiselle ajosyklille osoittaa, että NO_x -päästöt ovat luokkaa 0,004 g/km. Typen oksidipäästöt ovat näin 10 ... 20 kertaa pienemmät, kuin mitä laboratoriotestien raja-arvot ovat eri ajosykleille Pohjois-Amerikkalaisten ja Eurooppalaisten henkilöautojen tyyppihyväksynnässä. Ajosykliden välillä ei tosin voi tehdä aivan suoraa vertailua, koska syklien keskinopeudet ja mittaustavat ovat erilaiset. Vertailu antaa kuitenkin hyvän kuvan lämmittimen NO_x -päästöjen suuruusluokasta. Kun lukuarvon suhteuttaa maailmanlaajuisesti polttomoottoriautojen tuottamiin päästöihin, sähköauto polttoainekäyttöisellä lisälämmittimellä on varmasti paikallisilta päästöiltään alhaisempi kuin polttomoottoriauto.

Lämmitin ei tuota tasaisen käynnin aikana typen oksidia lukuun ottamatta muita varsinaisia saastepäästöjä. Liekin syttymiseen ja sammumiseen liittyy kuitenkin CO- ja HC-päästöjä muodostavia tekijöitä. Kaikki lämmittimet alittavat kuitenkin lämmittimille määritellyt saastepäästöjen rajat, ja sammumisvaiheen hetkellisiä päästöjä voi vähentää katalyysaattorin avulla. Lainsäätäjät ja Webasto eivät ole katsoneet etenkään pienien tehojen bensiini- ja diesellämmittimissä näiden päästöjen vähentämistä tarpeelliseksi, ja kilpailijakin on kehittänyt oman katalyysaattorinsa luultavasti vain etanolilämmitintä koskevien jatkuvien CO-päästöjen kitkemiseksi, ei siksi että liekin sammumispäästöt olisivat ongelma. Webaston bensiini- ja diesellämmittimien CO- ja HC-päästöt ovat käynnistys- ja sammumispäästöistä huolimatta kokonaisuutena merkityksettömän pienet.

Lämmittimet kuluttavat polttoainetta täydellä teholla 0,49 ... 0,8 litraa tunnissa lämmittimestä ja sen polttoaineesta riippuen. Ne onnistuvat muuntamaan polttoaineen kemiallisen energian hyvällä, keskimäärin 80 % hyötysuhteella lämmöksi. Jos polttoaineena käytetään vastuullisesti tuotettua polttoainetta, lisälämmityksen koko elinkaaren ajalle laskevat päästöt voivat pienentyä merkittävästi verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin.

9.2 Hyödyt

Sähköauton ajosäde riippuu olosuhteiden lisäksi suuresti siitä, millä tavalla ja mihin lämpötilaan sisätiloja lämmitetään. PTC-vastuksilla lämmitetyssä sähköautossa saavutetaan saksalaisen tutkimuksen mukaan 30 % parannus ajosäteeseen $-7\text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa. Kylmemmässä ympäristön lämpötilassa parannus olisi luultavasti vielä merkittävämpi. Jos

sähköauton ajosäde testataan samassa ympäristön lämpötilassa ilman lämmitystä ja lämmityksen kanssa, voidaan arvioida Webaston vaikutusta ajosäteeseen. Etenkin kaupunkiajossa ajosäteen pidentyminen voi olla merkittävä.

Lämpöpumppujärjestelmät vähentävät auton lämmityksen energiankulutusta, mutta kovemmilla pakkasilla ne eivät riitä auton ensisijaiseksi lämmönlähteeksi. Lämpöpumppujen toiminta heikkenee ratkaisevasti viimeistään $-15 \dots -20 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötiloissa, jolloin pumppu kytketään pois päältä. Lämpöpumppujen tuottama lämpöteho ja hyötysuhde heikkenevät kuitenkin jo ennen tätä lämpötila-aluetta, jolloin tietyssä pisteessä PTC-lämmityksen osuutta on alettava lisäämään sisätilojen lämpimänä pitämiseksi. Erään arvion mukaan nykyisellä R1234yf-kylmäaineella ei ole mahdollista rakentaa lämpöpumppua, joka riittäisi keskikokoisen sähköauton ainoaksi lämmönlähteeksi $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilasta alaspäin. Siksi Webasto-lämmitin toisi lisäystä ajosäteeseen myös lämpöpumpuilla varustettuihin autoihin. Hyöty olisi luultavasti suurin yli $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ pakkasilla. On tosin muistettava, että työtä varten ei löytynyt julkisia lähteitä, joissa olisi esitelty esimerkiksi työssä käsiteltyjen tuotantomallien lämpöpumppujen energiankulutusta ja lämpöenergian tuottoa lämpötilan funktiona.

Polttoainekäyttöisen lämmittimen asentaminen voisi tuoda sähköautoilijalle ajosäteen pitenemisen lisäksi myös muita hankintaa puoltavia hyötyjä. Mikäli sähköautoa ei ole mahdollista ladata esimerkiksi työpaikalla, Webasto-lämmitin toisi mukavuutta ja vaivattomuutta päivittäiseen talviajamiseen. Esimerkiksi esilämmityksen käyttö tarkoittaisi sulia ikkunoita ja valmiiksi lämmitettyjä sisätiloja missä vain, mutta lämmittämiseen kuluisi sähköä vain vähän. Lämmitintä voitaisiin ohjata kaukosäädöllä ja kelloajastuksella. Lisäksi ammattikäytössä polttoainekäyttöinen lisälämmitin voisi tuoda oikeaa lisäarvoa, koska ajosäteen piteneminen tarkoittaa lataukseen kuluvan ajan vähenemistä ja mahdollisuuksien kasvamista tuottavan työn tekemiseen. Suurimmat lämmittimen elinkaareen liittyvät kustannukset syntyvät asennuksesta. Koko lämmittimen hankkimisen mielekkyyttä tulee tämän vuoksi arvioida autoilijakohtaisesti. Lämmittimeen investointi voisi siis joissakin tapauksissa maksaa itsensä takaisin, mutta tarkempien markkinatutkimusten tekeminen jätetään jatkotutkimuksen tekijöille.

Webaston hankkiminen ei ole kannattavaa niille sähköautoilijoille, joille talvikäytössä lyhenevä ajosäde ei ole ongelma. Jotta sähköautot yleistyisivät tavallisen kansan keskuudessa, se vaatii kuluttajatottumusten ja -asenteiden muutosten lisäksi autojen ja ajosäteiden kehittymistä paremmiksi myös talvella. Lisäksi latausinfrastruktuurin tulisi olla paremmalla tolalla. Ennen näiden asioiden saavuttamista, Webaston asennus voisi jopa nopeuttaa sähköautojen yleistymistä Suomessa. Lämmittimen paikallisia päästöjä ei kannataisi pitää sähköautoilun edistämisen kannalta ongelmallisena. Tämä ajatus voidaan perustella sillä, että jos autoilija vaihtaisi polttomoottoriautonsa sähköautoon osin Webasto-lämmittimen ansiosta, ympäristöön paikallisesti vapautuvat päästöt olisivat erittäin todennäköisesti alhaisemmat kuin polttomoottoriautolla ajettaessa, ja Suomessa olisi näin yksi sähköauto enemmän.

9.3 Lakivaatimukset

Webasto-laitteita saa asentaa sähköautoihin kuten polttomoottoriautoihinkin, ilman ylimääräisiä rajoitteita. Kuitenkin polttoainesäiliön asentaminen autoon on toistaiseksi epäselvyyttä aiheuttava osio. Esimerkiksi Webasto uhkaa säiliön valmistajana takuun menetyksellä ja auton tyyppihyväksynnän menettämällä, mikäli säiliö asennetaan asennusohjeiden vastaiseen asentoon. Valmistaja viittaa ohjeessaan tämän jälkeen sääntöön UN/ECE R34, jossa ”säiliö” määritelläänkin ensisijaisesti auton voimanlähteeksi tarkoitettun polttoaineen varastoivaksi tilaksi. Kahan näkemys polttoainesäiliöiden maahan tuojana on ristiriidassa Webaston näkemyksen kanssa.

Koska sähköauton ensisijainen voimanlähde on akusto, ei sääntö R34 koske ylimääräisen säiliön asentamista sähköautoon. Yksiselitteistä tulkintaa tai aihetta koskevaa lainsäädäntöä ei ole olemassa, ja esimerkiksi toistaiseksi Kahan tekemät malliasennukset Nissan-sähköautoihin ovat olleet sellaiset, että muutokatsastuksen tarvetta tai muita seuraamuksia ei ole ollut.

9.4 Sähköautojen lämmitysjärjestelmät ja lämmittimen integrointi

Suomessa myydään opinnäytetyön kirjoitushetkellä kahdeksan eri valmistajan sähköautoja. Näistä autoista oli eroteltavissa rekisteröinti- ja myyntitilastojen kautta suosituimmat ja tulevaisuudessa enemmän yleistyvät sähköautomallit. Mallit ovat BMW i3, Hyundai Ioniq, Nissan Leaf, Nissan e-NV200, Renault Zoe, Tesla Model S, Tesla Model X sekä Volkswagen e-Golf. Lisäksi tutkittavien autojen listaan lisättiin Renault Kangoo Z.E., koska kyseinen sähköauto on varustettu jo tehtaalla polttoainekäyttöisellä lisälämmittimellä. Lisäksi lähihistoriassa valmistettu Volvo C30 electric oli varustettu polttoainekäyttöisellä lämmittimellä. Kangoo Z.E.:n tehdasasenteinen lämmitin osoittaa, että Kahan lisäksi myös merkittävien sähköautovalmistajan mielestä polttoainekäyttöiselle lämmittimelle on tarvetta uudessakin sähköautossa Suomen olosuhteissa.

Tutkittavien sähköautojen sisätilojen lämmitys on toteutettu valmistajasta ja mallista riippuen joko lämpöpumpun ja PTC-sähkölämmityksen yhdistelmällä, tai sitten pelkästään sähkölämmityksellä. Myös Kangoo Z.E.:ssä on ensisijaisina lämmittiminä ilmalämpöpumppu ja PTC-lämmitys. Lämmitysjärjestelmän hyötysuhdetta voidaan parantaa keräämällä hukkalämpöä sähköisen tehonsiirron komponenteilta. Tällainen järjestelmä on ainoastaan lämpöpumpullisissa sähköautoissa Hyundai Ioniq ja Volkswagen e-Golf. Myös Teslat keräävät hukkalämpöä, mutta tätä voidaan käyttää tarvittaessa vain akuston lämmitykseen, ei sisätilojen lämmittämiseen.

Lämpö siirretään sisätiloihin useimmissa autoissa ilmasta-ilmaan periaatteella, mutta Volkswagenissa, Renault Kangoo Z.E.:ssä ja BMW:ssä käytetään nestekiertoista sisätilojen lämmitystä. Volkswagen e-Golf ja BMW i3-malleihin olisi näin mahdollista integroida Webaston Thermo Top Evo-vesilämmitin. Koska Kangoossa on jo valmiiksi tehdasasenteinen vesilämmitin, ei toisen vesilämmittimen integrointi ole järkevää. Kaikissa muissa autoissa ainoaksi vaihtoehdoksi jää ilmalämmitin. Myös Kangoohon voisi asentaa ilmalämmittimen kuormatilan lämmittämiseksi.

Taulukossa 16 on esitelty kootusti sähköautomallit, niiden sisätilojen lämmittimen tyyppi, sisätilojen lämmönvaihtimen tyyppi, akuston lämmönhallinnan tapa ja suositeltu lämmitin. Sopivan tehoisen lämmittimen valinta ja tarkemman malliasennuksen suunnittelu ja toteutus jätetään jatkotutkimukselle.

TAULUKKO 16. Tutkittavien sähköautojen lämmönhallinta ja suositeltu Webasto-lämmitin

Auto	Sisätilojen lämmitys	Hukka-lämmön keruu	Lämmönvaihtosisätiloihin	Akuston lämmönhallinta	Suosittelut lämmitin
BMW i3	PTC + lämpöpumppu		Neste	Aktiivinen kylmäaine	Thermo Top
BMW i3 REx	PTC		Neste	Aktiivinen kylmäaine	Thermo Top
Hyundai Ioniq	PTC + lämpöpumppu	x	Ilma	Aktiivinen ilma	Air Top
Nissan e-NV200	PTC		Ilma	Aktiivinen ilma	Air Top (+ Air Top kuorimatilan lämmitykseen)
Nissan Leaf (2017-)	PTC + lämpöpumppu		Ilma	Passiivinen ilma	Air Top
Renault Kangoo Z.E.	PTC + Lämpöpumppu + PA-lämmitin		Neste	Aktiivinen ilma	Ei suositella (Air Top kuorimatilan lämmitykseen)
Renault Zoe	PTC + lämpöpumppu		Ilma	Aktiivinen ilma	Air Top
Tesla Model S	PTC	/ (akustolle)	Ilma	Aktiivinen neste	Air Top
Tesla Model X	PTC	/ (akustolle)	Ilma	Aktiivinen neste	Air Top
VW e-Golf	PTC + lämpöpumppu	x	Neste	Passiivinen ilma	Thermo Top

9.5 Työn onnistuminen ja jatkotutkimusaiheet

Opinnäytteen tavoitteena oli saada kattava näkemys sähköautojen lämmitysjärjestelmistä ja tavoista, joilla polttoainekäyttöisiä lisälämmittimiä voitaisiin integroida niihin. Tutkimusmenetelmät tukivat tätä tavoitetta, ja mahdollistivat hajanaisen ja yksityiskohtaisen tiedon keräämisen loogiseksi kokonaisuudeksi. Teoreettisista näkökohdista työ onnistui hyvin, sillä sähköautojen lämmitysjärjestelmistä muodostui todella kattava kuvaus. Lisäksi lisälämmittimien toiminta, hyötysuhteet ja päästöt määriteltiin kattavasti, oleellisesti ja työn tavoitteiden mukaisesti. Aivan kaikkia integrointiin liittyviä kysymyksiä ei pystytty selvittämään käytössä olleilla resursseilla, ja esimerkiksi mallikohtaista asennusta ei ehditty toteuttamaan.

Opinnäytetyötä voidaan pitää internet-lähteistä huolimatta erittäin luotettavana, sillä mahdollisimman moni väite pyrittiin etsimään mahdollisimman monista, toisistaan riippumattomista lähteistä. Näistä useimmat pohjautuivat suoraan valmistajan antamiin tietoihin. Tiedon etsinnässä lämpöpumpuista ja sähköautojen järjestelmistä yleisellä tasolla pyrittiin luotettavan, painetun kirjallisuuden käyttämiseen. Tiedot lämmittimistä ja niiden toiminnasta perustuvat Webaston ja Suomen virallisen Webasto-edustaja Kahan toimittamiin tietoihin, joita voidaan pitää ehdottoman luotettavina. Lisäksi tutkimuksen aikana kirjoittaja sai viralliset Webasto-koulutukset ja sitä kautta pätevyudet vesi- ja ilmalämmitysjärjestelmien asentamiseksi. Viittaukset lainsäädäntöön ja direktiiveihin pyrittiin tarkistamaan mahdollisimman ajankohtaisimmista lähteistä, ja työtä varten tekijä tutustuikin moneen kansalliseen ja kansainväliseen lainsäädäntöön liittyvään sääntöön, direktiiviin, tiedonantoon ja määräykseen. Opinnäytetyön tiimoilta tehtiin yhteistyötä niin Kahan, Kahan eri sidosryhmien, kuin viranomaistenkin kanssa ajankohtaisen ja luotettavan tiedon saamiseksi.

Tulosten perusteella kaikkiin taulukossa 16 esitettyihin sähköautoihin tulisi tehdä jatkotutkimusta. Malliasennuksen tarkempi toteutus kuhunkin sovellukseen ja sen toteuttaminen tulisi selvittää. Lisäksi riittävän suuren lämmittimen valinta tulisi tehdä tapauskohtaisesti. Polttoainesäiliön asennuspaikka tulisi pohtia jokaiseen autoon erikseen niin, että joka sovellukseen saataisiin paras mahdollinen ratkaisu. Malliasennusten jälkeen kunkin lämmitysjärjestelmän toimivuus ja sähköenergian säästö tulisi varmistaa käytännön testeillä.

Työ jätti runsaasti potentiaalisia jatkotutkimusaiheita. Esimerkiksi kuhunkin sähköautoon kannattaisi tehdä malliasennuksen jälkeen laboratoriotestaus ajosäteen pitenemisestä Webasto-lämmittimellä ja ilman. Lisäksi integrointiin ja esimerkiksi yksittäisen puhallinohjauksen tekemiseen voi liittyä haasteita, joiden ratkaisu saattaisi olla hyvä AMK-opinnäytetyön aihe. Jatkotutkimusta olisi hyvä tehdä myös ajoneuvokäytössä olevien lämpöpumppujärjestelmien ominaisuuksista kylmissä lämpötiloissa. Esimerkiksi hukkalämpöä keräävien järjestelmien vaikutus lämpöpumpun tehoon ja lämpökertoimeen olisi hyvä jatkotutkimusaihe. Myös erilaisten markkinatutkimuksien teko lisälämmittimien hyväksyttävyydestä ja niiden vaikutuksesta ihmisten ostopäätöksiin voisi olla Kahaa hyödyttävä jatkotutkimuksen aihe.

LÄHTEET

AKL Sertifiointi Oy. N.d. Sähkötyöturvallisuus - SFS 6002 ja työnsuorituksesta vastaava henkilö. Luettu 5.4.2018. [http://www.akl.fi/akl-sertifiointi_oy/sahkotyoturvallisuus - sfs 6002 ja tyonsuorituksesta vastaava henkilo](http://www.akl.fi/akl-sertifiointi_oy/sahkotyoturvallisuus_-_sfs_6002_ja_tyonsuorituksesta_vastaava_henkilo)

Alternative Fuels Data Center AFDC. 2014. Fuel Properties Comparison. PDF-tiedosto. Päivitetty 29.10.2014. Luettu 5.4.2018. https://www.afdc.energy.gov/fuels/fuel_comparison_chart.pdf

Andersen, K. 2017. Akut kehittyvät – käännteentekevää muutosta ei vielä näkyvissä. Nordea Funds Magazine 12.5.2017. Luettu 10.2.2018. <http://nordeafundsmagazine.fi/artikkelit/akut-kehittyvat-kaanteentekevaa-muutosta-ei-viela-nakyvissa>

Apfelbeck, R. & Barthel, F. 2013. Heating Comfort and Range Perfectly Combined - Heating Systems for Vehicles with Alternative Drive System. Prospects and Challenges of Biofuel-Operated Water and Air Heaters. SAE Technical Paper 2013-01-0240, 2013, doi: 10.4271/2013-01-0240.

Asetus (EY) N:o 661/2009, Moottoriajoneuvojen, niiden perävaunujen sekä niihin tarkoitettujen järjestelmien, osien ja erillisten teknisten yksiköiden yleiseen turvallisuuteen liittyvistä tyyppihyväksyntävaatimuksista (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). 13.7.2009. EU-julkaisut. Luettu 2.4.2018. <https://publications.europa.eu/publication-detail/-/publication/11a3f260-fd0c-4e27-9860-4d830e64762b/language-fi>

Blanco, S. 2015. 2011-2012 Nissan Leaf class-action lawsuit finally settled. Autoblog. 20.7.2015. <https://www.autoblog.com/2015/07/20/2011-2012-nissan-leaf-class-action-lawsuit-settled/>

BMW AG. 2018. Uuden BMW i3:n toimintamatka, lataus ja energiatehokkuus. Luettu 10.4.2018. <https://www.bmw.fi/fi/mallisto/i-yhteenveto/i3/2017/toimintamatka-lataus-energiatehokkuus.html>

BMW Group. 2014. BMW i production - Battery assembly - BMW Group. Video. YouTube 4.2.2014. Katsottu 26.1.2018. https://www.youtube.com/watch?time_continue=70&v=sIan-1Eotlc

Bower, G. & Ritter, K. 2015. BMW and LG Chem Trump Tesla in Battery Thermal Management. HybridCars.com. Luettu 26.1.2018 <http://www.hybridcars.com/bmw-and-lg-chem-trump-tesla-in-battery-thermal-management/>

Bower, G. 2016. Tesla Model S Recycles Waste Heat to Warm the Battery. Inside EV's. Luettu 26.2.2018. <https://insideevs.com/tesla-model-s-recycles-waste-heat-to-warm-the-battery-bower/>

Cho, C-W., Lee, H-S., Won, J-P. & Lee, M-Y. 2012. Measurement and Evaluation of Heating Performance of Heat Pump Systems Using Wasted Heat from Electric Devices for an Electric Bus. Energies 5/2012. 8.3.2012. PDF-tiedosto. Luettu 27.2.2018. www.mdpi.com/1996-1073/5/3/658/pdf

Diffen LLC. N.d. Diesel vs Petrol. Luettu 8.2.2018. https://www.diffen.com/difference/Diesel_vs_Petrol#Chemical_composition

Direktiivi 2001/56/EY moottoriajoneuvojen ja niiden perävaunujen lämmityslaitteista, neuvoston direktiivin 70/156/ETY muuttamisesta ja neuvoston direktiivin 78/548/ETY kumoamisesta. 27.9.2001. Eur-Lex. Päivitetty 2.7.2014. Luettu 25.4.2018. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=LEGISSUM:121240>

Duxbury, P. 2016. 10 Automotive Refrigerant Gas Facts. MTAWA - Motor Trade Association of Western Australia. 29.6.2016. Luettu 11.4.2018. <http://www.mtawa.com.au/membership/member-communication/latest-news/item/2782-10-automotive-refrigerant-gas-facts.html>

E Instruments International LLC. N.d. Combustion Training. Combustion Efficiency. Luettu 19.3.2018. <http://www.e-inst.com/combustion/combustion-efficiency>

E Instruments International LLC. N.d. NO_x Analyzers. Luettu 14.3.2018. <http://www.e-inst.com/measuring-nitrogen-oxides-nox/>

Eberspächer GmbH. 2018. PTC heater elements for electric and hybrid vehicles. Luettu 22.2.2018. <https://www.eberspaecher.com/en/products/electrical-heaters/high-voltage-heaters.html>

Endtuning.com. N.d. Air Fuel Ratios and Stoichiometry. Luettu 19.3.2018. <http://www.endtuning.com/afr/>

EPA – United States Environmental Protection Agency. N.d. Yhdysvaltain ympäristösuojeluvirasto. Overview of Greenhouse Gases. Carbon Dioxide Emissions. Luettu 19.3.2018. <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>

EPA – United States Environmental Protection Agency. 2016. Yhdysvaltain ympäristösuojeluvirasto. Subject: Request for issuance of a new certificate of Conformity - 2017 MY Model S RWD. Tesla. Vaatimustenmukaisuustodistus. PDF-tiedosto. https://iaspub.epa.gov/otaqpub/display_file.jsp?docid=39827&flag=1

Ewing, J. 2017. What Needs to Happen Before Electric Cars Take Over the World. The New York Times. 18.12.2017. Luettu 1.3.2018. <https://www.ny-times.com/2017/12/18/business/electric-car-adoption.html>

Green Car Congress. 2015. Audi highlights its range of electrification efforts; Q7 diesel PHEV, A7 fuel cell PHEV, BEV, 48V and more; 750 Wh/l by 2025. Green Car Congress 17.11.2015. Luettu 7.3.2018. <http://www.greencar-congress.com/2015/11/20151117-audi.html>

Green Car Congress. 2017. Hyundai begins rollout of Ioniq Hybrid, PHEV and EV; most efficient non-plug vehicle, most efficient EV in US; powertrain discussion. Green Car Congress 16.2.2017. Luettu 6.3.2018. <http://www.greencar-congress.com/2017/02/20170216-ioniq-1.html>

Groupe Renault. 2012. Renault Zoe Confidential #3: Cold Weather Tests. All about Cold Weather Tests. 17.8.2012. Luettu 26.2.2018. <https://group.renault.com/en/news/blog-renault/renault-zoe-confidential-3-cold-weather-tests/>

Großmann, H. 2016. Comparing the Refrigerant R1234yf and CO₂. ATZ Worldwide 118 (10), 70–77.

Haavisto, H. 2015. Ilmalämpöpumpun käyttö kovilla pakkasilla – auki vai kiinni? 13.1.2015. Luettu 21.2.2018. <https://www.mtv.fi/lifestyle/koti/artikkeli/ilmalampopumpun-kaytto-kovilla-pakkasilla-auki-vai-kiinni/4686756#gs.PRgYaTQ>

Hainzmaier, C., Requeiro, A. & Lappe, M. 2015. New Methods of Heating Hybrid and Electric Vehicles. SAE Technical Paper 2015-07-1711, 2015, doi:10.24271/2015-01-1711. Luettu 15.3.2018. <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2015-01-1711/preview/>

Huss, A., Maas, H. & Hass, H. 2013. JRC Technical Reports. TANK-TO-WHEELS Report Version 4.0. JEC WELL-TO-WHEEL ANALYSIS. WELL-TO-WHEELS ANALYSIS OF FUTURE AUTOMOTIVE FUELS AND POWERTRAINS IN THE EUROPEAN CONTEXT. Euroopan Komissio. Luettu 23.4.2018. http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/report_2013/ttw_report_v4_july_2013_final.pdf

Ilta-sanomat. 2016. Mercedes-Benz muuttaa kaikki autonsa 48-volttisiksi – tästä syystä vanha 12V:n järjestelmä jää nyt historian. Luettu 23.3.2018. <https://www.is.fi/autot/art-2000001266406.html>

Ingram, A. 2014. Toyota Gasoline Engine Achieves Thermal Efficiency Of 38 Percent. Green Car Reports. Luettu 10.2.2018. https://www.greencarreports.com/news/1091436_toyota-gasoline-engine-achieves-thermal-efficiency-of-38-percent

Jalovaara, T. 2018. Renault Kangoo Z.E. saapui Suomeen ravistelemaan sähköpaketti-autojen markkinoita – Kantama jopa 270 km. Tekniikan Maaailma. 11.1.2018. Luettu 29.1.2018. <https://tekniikanmaailma.fi/renault-kangoo-z-e-saapui-suomeen-ravistelemaan-sahkopakettiautoja-markkinoita-kantama-jopa-270-km/>

Oy Kaha Ab. 2012. Mallikohtainen asennusohje Nissan Leaf. Thermo Top Evo Asennusohje. 6.9.2012. PDF-tiedosto. Luettu 30.2.2018.

Oy Kaha Ab. 2015. Mallikohtainen asennusohje Nissan e-NV200. AIR TOP Asennusohje. 11.2.2015. PDF-tiedosto. Luettu 30.2.2018.

Oy Kaha Ab 2018. Henkilöautolämmittimet asennusperusteet. Koulutusmateriaali. PDF-tiedosto. Luettu 30.1.2018.

Oy Kaha Ab. 2018. Henkilöautolämmittimet jatkokurssi. Koulutusmateriaali. PDF-tiedosto. Luettu 30.1.2018.

Oy Kaha Ab. 2018. Ilmalämmitysjärjestelmä veneet. Koulutusmateriaali. PDF-tiedosto. Luettu 7.2.2018.

Oy Kaha Ab. 2018. Tuotemerkkimme: Webasto. Luettu 7.2.2018. <https://kaha.fi/tuotemerkkimme/webasto/>

Oy Kaha Ab. 2018. Webasto. Kaha Extranet. Luettu 21.1.2018. http://extra-net.kaha.fi/m_info.php?mid=5

Oy Kaha Ab. 2018. Webasto-seminaarikiertue 2017. Koulutusmateriaali. PDF-tiedosto. Luettu 30.1.2018.

Kane, M. 2016. Renault ZOE R240 Battery Capacity – 23.3 kWh Usable, 26 kWh Total. Inside EV's. Luettu 23.2.2018. <https://insideevs.com/renault-zoe-r240-battery-capacity-23-3-kwh-usable-25-92-kwh-total/>

Ketonen T. 2010. Ketonen vastaa. Lisälämmittimen käyttö on auton kulutukselle ja päästöille hyödyllinen. Tuulilasi.fi 26.2.2010. Luettu 28.3.2018. <http://www.tuulilasi.fi/kysymykset/lisalammittimen-kaytto-auton-kulutukselle-ja-paastoilte-hyodyllinen>

Komulainen, T. 2013. Sähköautojen toimintasäde jää talvella jopa puoleen. Savon Sanomat 10.10.2013. Luettu 27.2.2018. <https://www.savonsanomat.fi/teemat/autot/liikenne/S%C3%A4hk%C3%B6autojen-toimintas%C3%A4de-j%C3%A4%C3%A4-talvella-jopa-puoleen/425680>

Köbler, J. N.d. Clever use of waste heat. Audi-dialoge Tech News. Luettu 7.3.2018. <https://audi-dialoge.de/en/waermepumpe>

Laatikainen, T. 2017. Norja kaavailee Tesla-veroa - kuluttavat teitä ja ruuhkauttavat bussikaistat. Tekniikka & Talous 30.10.2017. Luettu 20.1.2018. <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/autot/norja-kaavailee-tesla-veroa-kuluttavat-teita-ja-ruuhkauttavat-bussikaistat-6684728>

Linde. N.d. Pressure and temperature data for common refrigerants. Product data booklet. The Linde Group. Tekninen tiedote. Luettu 11.4.2018. https://www.linde-gas.nl/internet.lg.lg.ndl/nl/images/Pressure%20and%20temperature%20data%20booklet172_129772.pdf?v=3.0

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. TRAFI/66404/03.04.03.00/2015. Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttaminen. Määräys. 28.4.2016. Luettu 1.4.2018. http://finlex.fi/data/normit/42527/TRAFI_66404_03_04_03_00_2015_FI_Auton_ja_sen_peravaunun_rakenteen_muuttaminen.pdf

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. 2017. Autojen päästömittaus muuttuu. Tiedonanto. Päivitetty 1.11.2017. Luettu 19.2.2018. <https://www.trafi.fi/tieliikenne/wltp-paastomittaus>

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. 2018. Autovertaamo. Automerkkien ja -mallien vertailupalvelu. Luettu 22.1.2018. <https://autovertaamo.trafi.fi/>

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. 2018. Ensirekisteröidyt sähköautot. Luettu 22.1.2018. https://www.trafi.fi/tietopalvelut/tilastot/tieliikenne/ensirekisteroinnit/ensirekisteroinnit_kayttovoimittain/sahkokayttoiset_autot

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. 2018. Liikennekäytössä olevat sähköautot. Luettu 22.1.2018. https://www.trafi.fi/tietopalvelut/tilastot/tieliikenne/ajoneuvokanta/ajoneuvokannan_kayttovoimatilastot/sahkokayttoiset_autot

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. 2018. Sähköauton hankintatuki. 10.1.2018. Luettu 22.1.2018. https://www.trafi.fi/oleedellakavija/tayssahkoauto/sahkoauton_hankintatuki

Linja-aho, V. lehtori. 2018. Sähköautot ja latausjärjestelmät. Luento. Sähköautojen perusteet kuntoon -koulutuspäivä 9.3.2018. Oy Kaha Ab. Vantaa.

Loveday, E. 2014. Here's Why Nissan Employs Active Air Cooling In e-NV200 Battery Pack. InsideEVs.com. 17.6.2014. Luettu 26.1.2018. <https://insideevs.com/heres-nissan-employs-active-air-cooling-e-nv200-battery-pack/>

Loveday, E. 2014. Confirmed: Tesla Model X Powertrain Identical To Model S 85D. InsideEVs.com 19.11.2014. Luettu 28.3.2018. <https://insideevs.com/confirmed-tesla-model-x-powertrain-identical-model-s-85d/>

Loveday, E. 2015. Used Nissan Leaf Buying Guide. InsideEVs.com. 17.3.2015. Luettu 28.2.2018. <https://insideevs.com/used-nissan-leaf-buying-guide/>

Motiva. N.d. Taustaa ja jatkosta. E10benssiini.fi. Luettu 8.3.2018. http://www.e10benssiini.fi/e10-benssiini/taustaa_ja_jatkosta

Motiva. 2013. Vältä kylmäkäynnistystä, muista esilämmitys. 09/2013. Luettu 27.2.2018. PDF-tiedosto. http://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/liikenne/valta_kylmakaynnistysta_muista_esilammitys.10750.shtml

Motiva. 2017. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. Luettu 20.2.2018. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi

Muneer, T., Kolhe, M. L. & Doyle, A. 2017. Electric vehicles: Prospects and challenges. Amsterdam: Elsevier.

Munro & Associates Inc. 2015. BMW i3 Teardown Analysis Study - Munro & Associates. Mainos. Luettu 25.1.2018. www.leandesign.com/pdf/BMW-i3-2016-Prospectus.pdf

Mäkelä, K. & Auvinen, H. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt. Liisa 2010 laskenta-järjestelmä. VTT tutkimusraportti 28.10.2011. PDF-tiedosto. Luettu 8.3.2018. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2011/VTT-R-07606-11.pdf>

Nelson, G. 2013. Automakers' switch to new refrigerant will accelerate with EPA credits, European mandate. Automotive News 30.12.2013. Luettu 11.4.2018. <http://www.autonews.com/article/20131230/OEM01/312309996/automakers-switch-to-new-refrigerant-will-accelerate-with-epa-credits->

Netcarshow.com. 2015. Volkswagen e-Golf. Luettu 24.1.2018. <https://www.netcarshow.com/volkswagen/2015-e-golf/#8>

Neste Oyj. 2015. Bensiniopas. PDF-tiedosto. Luettu 12.3.2018.

https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/bensiiniopas_2015.pdf

Nisewanger, J. 2017. 2017 Hyundai Ioniq Review – First Drive. Hybridcars 21.2.2018.

Luettu 1.3.2018. <http://www.hybridcars.com/2017-hyundai-ioniq-review-first-drive/>

Nissan International S.A. 2014. Nissan 2014 e-NV200. First Responder's Guide. Pelastushenkilöstön ohje. PDF-tiedosto. Luettu 28.2.2018.

iuv.sdis86.net/wp-content/uploads/2015/07/NISSAN_E-NV200_2014.pdf

Nissan Newsroom Europe. 2014. e-NV200: Electric Motor and Battery. Lehdistötiedote. Luettu 25.1.2018.

<https://newsroom.nissan-europe.com/eu/en-gb/media/press-releases/120591>

Nissan Suomi. 2018. Hinnastot ja esitteet. E-NV200 Evalia Van. PDF-tiedosto. Luettu 28.2.2018.

<https://www.nissan.fi/ajoneuvot/esitteet.html>

Orrberg, M. 2018. Sähköauto on jo todellinen vaihtoehto. Sähköala.fi. 1.3.2018. Luettu 1.3.2018.

http://www.sahkoala.fi/koti/sahkoautot/fi_FI/Sahkoauto_on_todellinen_vaihtoehto/

Omnagen Ltd. 2017. NOx emissions – formation, reduction and abatement. Clean-carbonenergy.com. Luettu 14.3.2018.

<http://clean-carbonenergy.com/nox-emissions.html>

Partslink 24. 2018. Varaosaportaali. Palvelu vaatii kirjautumisen. Luettu 10.4.2018.

<https://www.partslink24.com/partslink24/user/login.do>

Partsouq. 2018. Nissan e-NV200: ELECTRIC VEHICLE BATTERY; DUCT AIR. Luettu 1.3.2018. Varaosaportaali.

<https://partsouq.com/en/catalog/genuine/unit?c=Nissan&ssid=%24HQwdckgWUFMRDhYwR0htB3AbZJH6FEdFWwBscXgH-BBYaS0dKbXJ3cHxndRRHRVsGbHN-kZwIWa0dFW1tHFg8SEWR3OSQ0EB8UF19AFgxLRzR3A3kXHhMWUw0TWwgTBhkSEVIEAgFbCBMWcH4RSUgeDB1yS-BZYW1cWDFIRSx4RWWJREQ4ULkdVEEZXFwgRBg9aJ-FkCAwMXT01rdjMWI2daQV1LAnh3ShsaW1d0ThBeU1VJXyIQdhZoTw%24&vid=0&cid=5&uid=92959&q=>

Peltovirta, P. 2016. Volkswagen AG:n päästöhuujaus. Auto- ja kuljetustekniikka. Autotekniikka. Turun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Perälä, R. 2009. Lämpöpumput: Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. Helsinki: Alfamer.

Tilastokeskus. 2017. Polttoaineluokitus 2017. XLS-tiedosto. Luettu 1.3.2018.

http://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus_2017.xlsx

Tilastokeskus. 2018. Polttoaineluokitus 2018. XLS-tiedosto. Luettu 1.3.2018.

http://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus_2018.xlsx

Peltokangas, T. tarkastaja. 2018. VS: Polttoainesäiliön asentaminen sähköautoon Webasto-lisälämmitintä varten. Sähköpostiviesti. tuomas.peltokangas@trafi.fi. Luettu 18.4.2018.

Pontes, J. 2017. Why Nissan Has A Trick Up Its Sleeve With The New LEAF. Clean-Technica 16.9.2017. Sustainable Enterprises Media, Inc. <https://cleantech-nica.com/2017/09/16/nissan-trick-sleeve-new-leaf/>

Puolitaival, M. Teknisen palvelun esimies, Webasto-kouluttaja. 2018. Haastattelu 22.3.2018. Haastattelija Leinonen, T.

Quirkparts. 2018. Heater Core - Volkswagen (5QE-819-030-A). Varaosaportaali. Luettu 5.3.2018. <https://www.quirkparts.com/oem-parts/volkswagen-heater-core-5qe819030a>

RealOEM.com. 2018. i3 I01 LCI i3s 94Ah Water hoses. Varaosaportaali. Luettu 5.3.2018. http://www.realoem.com/bmw/enUS/showparts?id=7Z61-EUR-02-2018-I01N-BMW_i-i3s_94Ah&diagId=64_1955

Reed, P. 2011. Electric Car Battery Basics: Capacity, Charging and Range. Edmunds Inc. 25.1.2011. Luettu 2.4.2018. <https://www.edmunds.com/car-technology/electric-car-battery-basics-capacity-charging-and-range.html>

Renault. 2013. RENAULT KANGOO Z.E. Phase 2. Electric vehicle. First Responder's Guide. Pelastushenkilöstön ohje. Päivitetty 8.11.2013. Luettu 23.4.2018. http://www.arro.org.au/_dbase_upl/erg_kangoo_ze_ph2_nov_13.pdf

Renault S.A.S. 2018. Renault KANGOO Z.E. Vehicle user manual. Omistajan käsikirja. Luettu 23.4.2018. http://gb.e-guide.renault.com/sites/default/files/pdfs/eng/X61VE/KangooZE-1063-10_ENG.pdf

Renault Suomi. 2018. Renault kasvattaa sähköautojen valikoimaa – nyt esitellään uusi Kangoo Z.E. ja Master Z.E. 13.1.2018. Luettu 29.1.2018. <https://www.renault.fi/renault-kasvattaa-sahkoautojen-valikoimaa-esitellaan-uusi-kangoo-z-e-master-z-e/>

Renault Suomi. 2018. Uusi Renault Kangoo Z.E. nyt Suomessa – Renault vahvistaa sähköautomallistoaan. 11.1.2018. Luettu 26.2.2018. <https://www.renault.fi/uusi-renault-kangoo-z-e-nyt-suomessa-renault-vahvistaa-sahkoautomallistoaan/>

Renault Suomi. N.d. Renault Zoe tekniset tiedot. Luettu 1.3.2018. <https://www.renault.fi/henkiloautot/zoe/tekniset-tiedot-zoe/>

Robert Bosch GmbH, Reif, K. & Dietsche, K. 2014. Automotive handbook. 9. painos. Chichester: Wiley-Blackwell.

Robert Bosch GmbH. 2015. Bosch Mobility Solutions. Luettu 26.1.2018. <http://www.bosch-mobility-solutions.com/en/highlights/powertrain-and-electrified-mobility/thermal-management/>

Rönkkö, P. 2017. Listasimme: Kaikki Suomessa myytävät uudet sähköautot ja hybridit. Iltalehti 30.8.2017. Luettu 20.1.2018. http://www.iltalehti.fi/autouutiset/201708292200357690_oa.shtml

Saarinen, E. 2008. Mikä on yhdyskuntajätteen hiilidioksidineutraali osuus? Uusiouutiset 19 (2), 16-17.

Sippola, H. Tekninen neuvoja. 2018. Haastattelu 6.4.2018. Haastattelija Leinonen, T.

Suomen YK-liitto. N.d. Vastuullinen kuluttaminen. Luettu 5.4.2018. <http://www.yk-liitto.fi/yk70v/taloudellinen/vastuullinen-kuluttaminen>

Sääntö UN/ECE R34. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the prevention of fire risks. 12.11.2015. Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio. Luettu 1.4.2018. <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2015/R034r3e.pdf>

Sääntö UN/ECE R122. UNIFORM TECHNICAL PRESCRIPTIONS CONCERNING THE APPROVAL OF VEHICLES OF CATEGORIES M, N AND O WITH REGARD TO THEIR HEATING SYSTEMS. Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio. 23.2.2006. Luettu 25.3.2018. <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/old/r122e.pdf>

Tekniikan Maailma. 2017. Sähköautojen latauspisteet saivat valtiolta jättituen – tavoitteena maan kattava verkosto. 31.1.2017. Luettu 3.4.2018. <https://tekniikanmaailma.fi/sahkoautojen-latauspisteet-saivat-valtiolta-jattituen-tavoitteena-maan-kattava-verkosto/>

Tesla Motors Inc. 2017. Tesla Model X. Body repair Tech Note: Disconnecting 12 V and High Voltage Power. Päivitetty 14.3.2017. Tekninen tiedote. PDF-tiedosto. Luettu 20.2.2018. [https://service.teslamotors.com/sites/default/files/public/important-safety-info/BR-17-17-002_Disconnecting_12V_and_High_Voltage_Power_\(Model_X\).pdf](https://service.teslamotors.com/sites/default/files/public/important-safety-info/BR-17-17-002_Disconnecting_12V_and_High_Voltage_Power_(Model_X).pdf)

Tiedonanto KOM/2008/0800 lopull. Euroopan komission tiedonanto Eurooppa-neuvostolle - Euroopan talouden elvytysuunnitelma. Euroopan unionin virallinen lehti 13.02.2009. Luettu 21.1.2018. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/LSU/?uri=CELEX:52008DC0800>

TL-verkkotoimitus. 2012. Pakkanen kyykyttää akun, Webaston, polttoaineen ja osamattoman korjaamon. Tuulilasi 1.11.2012. Luettu 27.2.2018. <http://www.tuulilasi.fi/uutiset/pakkanen-kyykyttaa-akun-webaston-polttoaineen-ja-osamattoman-korjaamon>

Turkula, T. 2017. Diesel ei kuole vielä vuosikymmeniin. Moottori 28.8.2017. Luettu 5.4.2018. <https://www.moottori.fi/liikenne/jutut/diesel-ei-kuole-viela-vuosikymmeniin/>

van Basshuysen, R. & Schäfer, F. 2004. Internal Combustion Engine Handbook - Basics, Components, Systems, and Perspectives. SAE International.

Virtanen, S. 2014. Miten käy sähköauton pakkasessa lämmityslaite päällä? Testit -20 C°:ssa. Tekniikka & Talous 6.2.2014. Luettu 3.4.2018. <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/autot/2014-02-06/Miten-k%C3%A4y-s%C3%A4hk%C3%B6auton-pakkasessa-1%C3%A4mmityslaite-p%C3%A4%C3%A4ll%C3%A4-Testit--20-C%C2%B0ssa-3317627.html>

Volkswagen.2014. Volkswagen e-Golf - The intelligent heating system. YouTube 17.7.2014. Katsottu 25.1.2018. <https://www.youtube.com/watch?v=mu0SRioBdeo>

Volvo Car Group. 2012. Volvo C30 Electric – cool, comfortable motoring even in sub-zero climate. 26.3.2012. Luettu 9.2.2018. <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/43123>

VW Canada. 2017. 2017 e-Golf: Maximizing electric car range in winter. 29.3.2017. Luettu 25.1.2018. <https://pulse.vwmodels.ca/2017/03/2017-e-golf-maximizing-electric-car-range-winter/>

Webasto SE. 19.10.2015. Webasto HVH High Voltage Heater. YouTube 2015. Katsottu 27.2.2018. https://www.youtube.com/watch?v=suOMTY_CMQk

Webasto Thermo & Comfort SE. 2018. International Training. Air Top Evo 40/55 introduction Training. Opetusmateriaali. Webasto On-line koulutus. Webasto Dealer Portal. Luettu 7.2.2018.

Webasto Thermo & Comfort SE. 2018. International Training. Dual Top Introduction Training. Opetusmateriaali. Webasto On-line koulutus. Webasto Dealer Portal. Luettu 1.2.2018.

Webasto Thermo & Comfort SE. 2018. International Training. Thermo Top Evo Introduction Training. Opetusmateriaali. Webasto On-line koulutus. Webasto Dealer Portal. Luettu 5.2.2018.

Webasto Thermo & Comfort SE. N.d. Asennusohje Ilmalämmittimet Air Top Evo 40/55. Yleisasennusohje. PDF-tiedosto. Webasto Dealer Portal. Luettu 8.2.2018.

Webasto Thermo & Comfort SE. N.d. Installation Instructions Thermo Top Evo. Yleisasennusohje. PDF-tiedosto. Webasto Dealer Portal. Luettu 5.2.2018.

Webasto Group. 2018. Electric Heaters. Heating systems for electric and hybrid vehicles. Luettu 28.2.2018. <https://www.webasto-group.com/en/original-equipment/thermo-systems/electric-heaters/>

Webasto Group. 2018. Heating Systems for Automotive Industry. New Heating Concepts. Luettu 24.3.2018. <https://www.webasto.com/us/markets-products/car/heating-systems-for-automotive-industry/vehicle-heaters/>

Yle. 2012. Ilmalämpöpumppu pakkasella - sammuttaako vai ei? Päivitetty 15.4.2012. Luettu 21.2.2018. <https://yle.fi/uutiset/3-5061818>

Zhang, Z., Li, W., Shi, J. & Chen, J. 2016. A Study on Electric Vehicle Heat Pump Systems in Cold Climates. Energies 2016, 9, 881.

Ziemann, M. Analyysi: Renkaat ja jarrut suurempi hiukkaspäästöongelma kuin pako-kaasu. Yle 21.2.2017. Luettu 28.3.2018. <https://yle.fi/uutiset/3-9470466>

7zap.com. 2018. heater element; coolant hose - e-Golf(GOE) [EUROPA 2015 year]. Varaosaportaali. Luettu 6.3.2018. <https://volkswagen.7zap.com/en/rdw/e-golf/goe/2015-774/8/819-819060/#35>

LIITTEET

Liite 1. Suomessa myynnissä olevat sähköautot tammikuussa 2018 (Trafi Autovertaamo 2018)

1 (2)

Suomessa myytävät sähköautot	Hinta
BMW i3 94	41 828,50 €
BMW i3 94 Charged Edition	43 882,69 €
BMW i3 94Ah	40 909,80 €
BMW i3 94Ah Charged Edition	42 963,99 €
BMW i3 s 94	45 699,44 €
BMW i3 s 94 Charged Edition	47 753,63 €
Hyundai IONIQ electric Comfort	36 790,00 €
Hyundai IONIQ electric Comfort Business	35 365,03 €
Hyundai IONIQ electric Style	38 790,00 €
Hyundai IONIQ electric Style Business	37 252,03 €
Kia Soul EV	35 317,52 €
Nissan e-NV200 Combi 5 A/T Comfort Plus DSD French Doors Nissan Connect	36 541,52 €
Nissan e-NV200 Combi 5 A/T Comfort Plus DSD French Doors Nissan Connect 6,6 kW charger	37 629,51 €
Nissan e-NV200 Combi 7 A/T Comfort Plus DSD French Doors Nissan Connect	37 149,53 €
Nissan e-NV200 Combi 7 A/T Comfort Plus DSD French Doors Nissan Connect 6,6 kW charger	38 237,52 €
Nissan e-NV200 Evalia 5 A/T Premium DSD Tailgate	38 487,10 €
Nissan e-NV200 Evalia 5 A/T Premium DSD Tailgate 6,6 kW charger	39 575,09 €
Nissan e-NV200 Evalia 7 A/T Premium DSD Tailgate	39 095,11 €
Nissan e-NV200 Evalia 7 A/T Premium DSD Tailgate 6,6 kW charger	40 183,10 €
Nissan Leaf Acenta 40 kWh Driver Assist Pack FI	38 500,00 €
Nissan Leaf Acenta 40 kWh FI	37 900,00 €
Nissan Leaf Business 360 40 kWh 2-tone FI	40 530,00 €
Nissan Leaf Business 360 40 kWh FI	39 990,00 €
Nissan Leaf N-Connecta 40 kWh 2-tone FI	39 730,00 €
Nissan Leaf N-Connecta 40 kWh FI	39 190,00 €
Nissan Leaf Tekna 40 kWh 2-tone FI	42 000,00 €
Nissan Leaf Tekna 40 kWh FI	41 460,00 €
Nissan Leaf Tekna 40 kWh Leather 2-tone FI	42 880,00 €
Nissan Leaf Tekna 40 kWh Leather FI	42 340,00 €
Nissan Leaf Tekna 40 kWh Leather ProPilot Park 2-tone FI	43 380,00 €
Nissan Leaf Tekna 40 kWh Leather ProPilot Park FI	42 840,00 €
Nissan Leaf Tekna 40 kWh ProPilot Park 2-tone FI	42 500,00 €
Nissan Leaf Tekna 40 kWh ProPilot Park FI	41 960,00 €
Nissan Leaf Visia 40 kWh FI	35 900,00 €

2 (2)

Nissan <u>Leaf Visia 40 kWh Parking Sensors FI</u>	36 080,00 €
Renault <u>Zoe Z.E. 40 Intens</u>	34 890,00 €
Renault <u>Zoe Z.E. 40 Life</u>	32 890,00 €
smart <u>forfour passion electric drive</u>	26 675,10 €
smart <u>forfour prime electric drive</u>	27 500,90 €
smart <u>fortwo cabrio passion electric drive</u>	29 358,95 €
smart <u>fortwo cabrio prime electric drive</u>	29 978,29 €
smart <u>fortwo coupe passion electric drive</u>	25 849,30 €
smart <u>fortwo coupe prime electric drive</u>	26 468,65 €
<u>Tesla Model S 100 D</u>	119 957,15 €
Tesla Model S 75 Business Economy	85 880,92 €
<u>Tesla Model S 75 D</u>	91 482,49 €
Tesla Model S P 100 D	164 251,06 €
<u>Tesla Model X 75 D</u>	102 218,81 €
<u>Tesla Model X 100 D</u>	123 639,67 €
<u>Tesla Model X 90 D</u>	116 897,02 €
Tesla Model X P100 D	174 209,41 €
Volkswagen Golf e-Golf 100 kW (136 hv) <u>automaatti</u>	42 551,09 €
Volkswagen up! <u>e-up! 60 kW (82 hv) automaatti</u>	29 007,96 €