
LOHKOLÄMMITTIMIEN KÄYTÖN ENERGIATEHOK- KUUDEN PARANTAMINEN PAIKOITUSALUEELLA

Marko Kauranen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Marko Kauranen	
Työn nimi Lohkolämmittimien käytön energiatehokkuuden parantaminen paikoitusalueella	
Päiväys 20.5.2011	Sivumäärä/Liitteet 47
Ohjaaja(t) Diplomi-insinööri Risto Rissanen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Tekman Tuki ry, Petteri Harjunen (tekninen isännöitsijä) ja Yrjö Kokkonen (isännöitsijä)	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Insinöörityön tarkoituksena oli tutkia ison paikoitusalueen energian kulutusta ja henkilöauton polttomoottorin esilämmittämiseen kuluvaan energian määrää. Työn pääpaino asetettiin nykyisen järjestelmän ja vertailtavien järjestelmän vertailuun. Vertailun tarkoitus oli selvittää, kannattaako nykyinen järjestelmä vaihtaa toiseen ja onko näin mahdollista saada paikoitusalueen energiankulutusta pienennettyä.</p> <p>Työn yksi pääasiallinen mittauskohde oli Tekman Tuki ry:n paikoitusalue Kuopion Puijonlaaksossa. Paikoitusalueelta kerättiin tietoa muun muassa lämmitykseen kytkettyjen autojen määrästä ja ulkolämpötilasta. Tammikuussa 2011 paikoitusalueelle suoritettiin energiamittauksia tallentavalla mittalaitteella. Tallennetuista mittauksista pystyttiin selvittämään alueen energiankäytön jakautuminen eri vuorokauden ajoille. Mittaustuloksista pystyttiin myös selvittämään luotettavasti autokohtainen liityntäteho.</p> <p>Moottorin lämpenemisestä suoritettiin tarkentavia mittauksia sähkövoimatekniikan laboratorion avulla. Mittausten lähtökohdaksi oli vertailla kolmen eri järjestelmän vaikutusta tehonkulutukseen ja moottorin lämpenemiseen. Vertailtavia laitteita olivat EHS-termostaatti, Termotakt ja ajastinkello.</p> <p>Termotakt-järjestelmän vaihtamisella ajastinkelloihin olisi mahdollista säästää energiaa, mutta säästetyn energian kokonaismäärä on niin pieni, ettei järjestelmän vaihtaminen ole perusteltavissa säästetuilla säästöillä. EHS-termostaatilla saavutettu hyöty on suurimmillaan ylläpitolämmitykseen kytketyillä ajoneuvoilla, jolloin sen vaikutus energiankulutukseen voi olla merkittävä.</p>	
Avainsanat Termotakt, esilämmitys, ajastinkello, EHS, termostaatti	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Marko Kauranen			
Title of Thesis Making the Use of Engine Preheating More Efficient in a Big Parking Area			
Date	20 May 2011	Pages/Appendices	47
Supervisor(s) Mr Risto Rissanen, MSc			
Project/Partners Tekman Tuki ry, Mr Petteri Harjunen, Technical Manager and Mr Yrjö Kokkonen, Manager			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to research the energy consumption of a big parking area and find out how much energy is used in engine preheating. The main emphasis was set on comparing the existing heating control system and substitutive systems. The purpose of the comparison was to clarify if there is a possibility to decrease energy consumption.</p> <p>One main site of energy measurements was the main distribution room located in the parking area owned by Tekman Tuki ry in Kuopio. Information was collected by counting the number of cars plugged in preheating and the outside temperature. Energy measurements were done with a registering instrument in January and the average power demand per vehicle could be calculated from the saved data.</p> <p>The warming of the vehicle engine was studied with detailing measurements in the electricity laboratory. Measurements were made to compare three different heating control systems and how these systems could adjust energy consumption and the temperature of the engine. The comparison was done between the EHS thermostat, Termotakt and timer switch.</p> <p>There is a potential for saving energy if the Termotakt system is changed to the timer switches. The amount of the saved energy is not so significant that the change could be argued with it. Changing the Termotakt system to the timer switches is not economically recommendable. The use of the EHS thermostat can give big benefits if it is used in the stand-by heating of the engine.</p>			
<p>Keywords Termotakt, preheating, timer switch, EHS, thermostat</p>			

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Kuopiolaiselle Tekman Tuki ry:lle. Työtä varten tehdyt mittaukset ja seurantajakso vaativat paljon aikaa ja tutustumista mitattaviin kohteisiin. Työ tarjosi paljon haasteita. Kiitokset työn aiheesta kuuluvat Tekman Tuki ry:n Yrjö Kokkoselle ja Petteri Harjuselle. Savonia-ammattikorkeakoulusta kiitän työn ohjaajaa diplomi-insinööri Risto Rissasta. Heidän avullaan työ valmistui vuoden mittaan pala palalta.

Kiitokset myös ystäville ja kavereille, jotka lainasivat autojaan hetkeksi lohkolämmittimien tehomittauksiin. Erityiskiitoksen haluan osoittaa kihlatulleni ja pienelle tyttärelleni, jotka ovat valaneet opiskeluintoa.

Kuopiossa 20.5.2011

Marko Kauranen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	TEKMAN TUKI RY	8
3	TEORIA.....	9
	3.1 Lämpöoppi.....	9
	3.2 Eristeaineet	10
	3.3 Nestejäähdytys polttomoottorissa	11
	3.4 Esilämmitin	11
4	LÄMMITYSSUOSITUKSET (MOTIVA)	13
5	VARTAILUSSA KÄYTETTÄVÄT LAITTEET	14
	5.1 ASEA SKANDIA Termotakt	14
	5.2 TAC Xenta.....	16
	5.3 Lohkolämmittimen EHS-termostaatti.....	17
	5.4 Ajastinkello	18
6	MITTAUKSET	20
	6.1 ASEA SKANDIA Termotakt	20
	6.2 Lohkolämmittimen EHS-termostaatti.....	21
	6.3 Ajastinkello	24
	6.4 Mittaustulosten arviointi matemaattisesti.....	24
7	SEURANTAJAKSO JA MITTAUKSET PAIKOITUSALUEELLA	28
	7.1 Termotakt lämmityspaikat	28
	7.2 Ajastinohjatut lämmityspaikat.....	30
	7.3 Tehonmittaukset paikoitusalueella	32
8	PAIKOITUSALUEEN ENERGIANKULUTUS	37
	8.1 Paikoitusalueen energiankulutuksen arviointi	37
	8.2 Paikoitusalueen energiansäästölaskelmat	40
	8.3 EHS –termostaatti ja sillä saavutettavat energiansäästöt.....	42
9	YHTEENVETO	45
	LÄHTEET	47

1 JOHDANTO

Tämän insinööri työ on tehty Tekman Tuki ry:lle. Työn tarkoitus on tutkia Tekman Tuki ry:n hallinnoiman paikoitusalueen sähköenergiankulutusta ja selvittää, olisiko paikoitusalueella mahdollista saada säästöjä energiankulutuksessa.

Työn tavoitteina on perehtyä testiautolla suoritettaviin mittauksiin moottorin lämpenemiseen, kun esilämmittimen sähkönsyötön ohjaukseen käytetään lisälaitteita. Vertailtaviksi lisälaitteiksi valittiin EHS-termostaatti, Termotakt ja ajastinkello. Työssä perehdytään myös paikoitusalueen energiankulutuksen arviointiin ja sähkönkulutuksen jakaantumiseen eri vuorokauden ajoille.

Paikoitusalueella seurattiin talven aikana esilämmitintä käyttävien autojen lukumäärää ja ilman lämpötilaa. Saaduista tuloksista tehdyn lineaarisen regression avulla on mahdollista arvioida lämmitystä käyttävien autojen lukumäärää lämpötilan funktiona. Paikoitusalueella mitattiin myös sähköpääkeskuksesta energiankulutusta ja paikoitusalueen ottamaa hetkellistehoä. Vertailtavien laitteiden vaikutusta moottorin lämpenemiseen tutkittiin sähkötekniikan laboratorioon tehdyillä koejärjestelyillä.

2 TEKMAN TUKI RY

Tekman Tuki ry on vuonna 1963 perustettu yleishyödyllinen yhdistys, joka omistaa viisi kerrostaloa. Talot sijaitsevat Puijonlaaksossa Taivaanpankontiellä ja Retkeilijäntiellä. Opiskelija-asuntopaikoja vuokrataan ensisijaisesti Savonia-ammattikorkeakoulun teknologia- ja ympäristöalan opiskelijoille.

Neljä taloa on rakennettu 1960- ja 1970-luvuilla sekä yksi vuonna 2002. Neljää vanhinta rakennusta on perusparannettu 1990- ja 2000-luvulla. Yhteensä taloissa on 201 huoneistoa, joissa on 263 vuokranmaksuyksikköä ja 31 asukaspaikkaa.

Tontilla on yhteensä 142 sähköistettyä autopaikkaa, joista 114 paikkaa on Termotakt ohjauksen takana ja 28 ajastinkellollisia. Termotakt-paikkojen sähkö katkaistaan kello-ohjauksella klo 22...05 väliseksi ajaksi. Ajastinkellollisten paikkojen sähkönsyöttö voidaan ohjata päälle kahdeksi tunniksi kerrallaan.

3 TEORIA

3.1 Lämpöoppi

Lämpöopin mukaisesti kaksi eri lämpötilassa olevaa kappaletta pyrkivät termiseen tasapainoon. Tämä pätee myös henkilöauton moottoriin ja ulkoilman lämpötilaan. Tällöin lämpimämpi kappale vapauttaa lämpöenergiaa ja kylmempi kappale vastavasti sitoo sitä. Tällöin puhutaan lämmön siirtymisestä.

$$C = \frac{Q}{t}, [C] = \frac{J}{^\circ C} \quad [3.1]$$

jossa C on lämpökapasiteetti, Q on lämpöenergia ja t lämpöastetta.

Kuten kaavasta 3.1 (Suvanto 2005) voidaan nähdä, tarkoittaa lämpökapasiteetti energian määrää, jonka kappale tarvitsee lämmitäkseen yhdellä lämpöasteella. Kappale on sitä parempi varaamaan lämpöenergiaa, mitä suurempi on sen lämpökapasiteetti.

Kun otetaan tarkasteluun kappale, joka on ilman ympäröivänä ja kappaleeseen vietään vakiosuuruinen lämpöteho P . Kappale ottaa lämpötehoa vastaan ja siihen varastoituu lämpöenergiaa. Kun kappale lämpenee, alkaa kappale myös säteilemään ympäröivään ilmaan. Kun kappaleeseen vietään tietyn suuruinen lämpöteho tarpeeksi pitkän aikaa, saavuttaa kappale loppu lämpenemän. Tällöin voidaan puhua kappaleen lämpövastuksesta, eli lämpöresistanssista (Kaava 3.2) ympäröivään ilmaan.

$$R_{th} = \frac{K}{W}, \quad [3.2]$$

jossa R_{th} on lämpövastus, K on lämpötilan muutos ja W muutokseen tarvittava teho.

Lämpöresistanssi kuvaa kappaleen kykyä luovuttaa ja vastaanottaa lämpöenergiaa kahden eri rajapinnan välillä. Niin kauan kuin kappaleeseen viety teho on suurempi kuin kappaleesta poistuva teho, kappaleen lämpötila nousee.

Lämpimän kappaleen jäähtymistä tai lämpenemistä voidaan myös arvioida ajan funktiona (Newtonin jäähtymislaki, kaava 3.3). Henkilöauton moottorin tapauksessa tämä ei ole aivan suoraselitteistä, sillä moottorin termostaatin avautumista ja veden virtausta on hankala arvioida. Kiinteälle kappaleelle ja henkilöauton moottorille voidaan kui-

tenkin tehdä askelvastekoe, jolla saadaan suuntaa antava arvio kappaleen jäähtymisestä.

Askelvastekokeessa kappaleen ympäröivä lämpötila muuttuu nopeasti lämpötilasta toiseen. Aikavakio on aika, joka kuluu siihen pisteeseen, kun kappaleen lämpötila saavuttaa 63 % kohdelämpötilasta. Tätä aikaa merkitään aikavakion tunnuksella τ .

Newtonin jäähtymislaki (kaava 3.3 (JP & SKK, 2001)) olettaa, että kappaleen lämpötila on kauttaaltaan yhtä lämmin. Käytännössä kappaleen sisälämpötila on eri kuin mitä kappaleen pinnan välittömästä läheisyydestä mitattu lämpötila, sillä kaava ei ota lämmön johtumista materiaalissa huomioon. Newtonin jäähtymislaiissa esiintyvä k on kappaleen lämpöominaisuuksien mukaan määräytyvä kerroin, joka saadaan myös aikavakion τ käänteisarvosta.

$$\frac{dT(t)}{dt} = -k (T(t) - T_a) \quad [3.3]$$

Kun kaavasta kolme ratkaistaan lämpötila $T(t)$, saadaan

$$T(t) = T_a + e^{-k t} (T_0 - T_a) \quad [3.4]$$

Kaavoissa 3.3 ja 3.4 k on kappaleelle ominainen kerroin, T_a on ympäristön lämpötila, T_0 on kuumen kappaleen lämpötila, t on tarkasteltava ajankohta lähtötilanteesta, T on lämpötila.

3.2 Eristeaineet

Lämpöenergian varastoitumista voidaan helpottaa myös eristeaineilla. Termospullo on hyvä esimerkki eristeestä. Sen sisällä olevan nesteen lämpötila säilyy pitkiäkin aikoja lähestulkoon muuttumattomana.

Vanhemmissa henkilöautoissa näkee käytettävän konepellin sisäpuolella punottua villaa. Sen alkuperäinen käyttötarkoitus on ollut äänen vaimentaminen, mutta se toimii myös moottorin eristeaineena ja näin ollen auttaa moottoria säilyttämään lämpöenergiaa. Uusissa autoissa moottorin koteloinnilla on haettu mukavuutta ja pienempää moottorimelua. Myös nämä äänenvaimennukseen käytetyt materiaalit auttavat moottoria säilyttämään siihen sitoutuneen lämpöenergian.

3.3 Nestejäähdytys polttomoottorissa

Polttomoottorin jäähdytysjärjestelmä on suljettu järjestelmä, jossa on moottorin käyntilämpötilassa tarkoituksellinen ylipaine. Paine on valmistajakohtainen ja usein yli 0,4 bar. Jäähdytysjärjestelmän ylipaine aiheutuu jäähdytysnesteen ominaisuuksista. Kuuma neste laajenee ja paineistaa järjestelmän.

Jäähdyttäjän korkin rakenteen tehtävänä on pitää ylipaine järjestelmään sopivana ja sallia ylimääräisen nesteen virtaamisen paisuntasäiliöön. Toisaalta korkin on annettava nesteen virrata takaisin jäähdyttäjään, kun neste jäähtyessään supistuu. Järjestelmän paine auttaa myös nostamaan siellä olevan nesteen kiehumispistettä. Tästä johtuen jäähdytysjärjestelmää ei tulisi koskaan avata kuumana.

Jos järjestelmä avataan ja järjestelmän paine laskee, on vaarana, että nesteen lämpötila on suurempi, kuin mitä sen kiehumispiste on järjestelmän ulkopuolisessa paineessa. Jos tällainen tilanne syntyy esimerkiksi tiivistevian seurauksena, neste kiehuu räjähdysmäisesti ja purkautuu hallitsemattomasti vuotokohdasta.

Purkautuva höyry sitoo itseensä nesteeseen ja moottorin osiin varautunutta lämpöenergiaa. Tilanne rauhoittuu vasta, kun järjestelmän lämpötila laskee nesteen kiehumispisteeseen. Kuvatonlainen tilanne voi syntyä myös, jos järjestelmän lämpötila nousee nopeasti liian suureksi, esimerkiksi huonon jäähdytysnesteen tai laitevian seurauksena. Tällöin neste pyrkii kiehumaan, koska sitä ei kyetä jäähdyttämään riittävän nopeasti. Tällöin höyryä ja kuumaa nestettä poistuu jäähdyttäjän korkin kautta järjestelmästä. Tällöin kuulee usein sanottavan ”moottori keittää”.

3.4 Esilämmitin

Moottorin esilämmitin on yleensä joko kiinteällä polttoaineella tai sähköllä toimiva lämmitin, jonka tehtävänä on lämmittää moottoria ja nostaa sen lämpötilaa ulkolämpötilaa korkeammaksi. Esilämmittimiä on markkinoilla useampaa eri tyyppiä.

Perinteinen lohkolämmitin on vastuselementti, joka asennetaan moottorin vesitilaan. Yleensä asennuspisteenä toimii moottorin kyljessä oleva ”pakkaspropun” aukko. Lämmittimen asennuksen yhteydessä reikää peittävä tulppa poistetaan ja lämmi-

tinelementti työnnetään vesitilaan ja lukitaan paikoillaan. Tällöin vastus on suorassa yhteydessä moottorilohkossa olevaan jäähdytinnesteeseen.

Säteilylämmitin on uudempiin henkilöautoihin suunniteltu lämmitin, joka ei ole suorassa yhteydessä moottorin nesteisiin. Säteilylämmitin asennetaan moottorin kylkeen tai öljypohjaan, josta lämpö johtuu moottorin rakenteisiin.

Letkulämmitin on toimintaperiaatteeltaan kuten lohkolämmitin, mutta se asennetaan moottorin vesiletkuun. Tällöin lämmitin lämmittää letkussa olevaa nestettä ja nesteen ominaispainon muutos saa nesteen kiertämään.

4 LÄMMITYSSUOSITUKSET (MOTIVA)

Motiva Oy on Suomen valtion kokonaan omistama asiantuntija yhtiö, joka kannustaa energian ja materiaalien tehokkaaseen ja kestävään käyttöön (Motiva). Motiva Oy on julkaissut taulukon, josta selviää henkilöautoille suositeltu lämmitysaika ja ulkolämpötila. Taulukossa on otettu huomioon lohkolämmittimen lisäksi säteilylämmitin.

TAULUKKO 1. Lämmitysaikasuositukset (Motiva).

Ulkoilman lämpötila / °C	Lohkolämmitin / h	Säteilylämmitin / h
+5 ... -5	0,5	1
-5 ... -10	1	2
-10 ... -20	2	3

Taulukoidut lämmitysaikasuositukset ovat suoraan sovellettavissa suoralla sähkölämmityksellä varustettuihin henkilöautoihin. Suositusaikojä pidempi esilämmitys ei oleellisesti paranna esilämmityksestä saatavaa hyötyä vaan kuluttaa turhaan sähköenergiaa.

5 VARTAILUSSA KÄYTETTÄVÄT LAITTEET

Vertailtavista laitteista EHS-termostaatti oli ainoa, joka asennettiin kiinteästi auton moottoritilaan. Lämmitystolpassa sijaitseva ajastinkello ja kiinteistön sähköpääkeskuksessa oleva Termotakt ovat kiinteisiin kalusteisiin asennettavia laitteita, eivätkä näin ollen vaadi auton lohkolämmittimen asennukseen mitään muutoksia.

5.1 ASEA SKANDIA Termotakt

Termotakt on entisen ASEA SKANDIAN suunnittelema ja rakentama laite, joka säätelee ajallisesti annettavan sähkön määrää ja laitteen tehon keskiarvoa ulkolämpötilan mukaan. Laitetta ei ole ollut saatavilla vuosiin, mutta se on edelleen yleisesti käytössä. Laitteesta on myös aikojen saatossa ilmestynyt markkinoille useampia eri versioita, jotka jäljittelevät Termotakt:n toimintaa.

Tekman Tuki ry:n arkistoista viittaus laitteeseen löytyi ensimmäisen kerran vuodelta 1987 olevista sähköpiirustuksista. Laite lienee asennettu tuolloin ohjaamaan paikoitusalueen virransyöttöä.



KUVA 1. Tekman paikoitusalueen sähkönsyöttöä ohjaava ASEA SKANDIA Termotakt. Kuva Marko Kauranen, 2010.

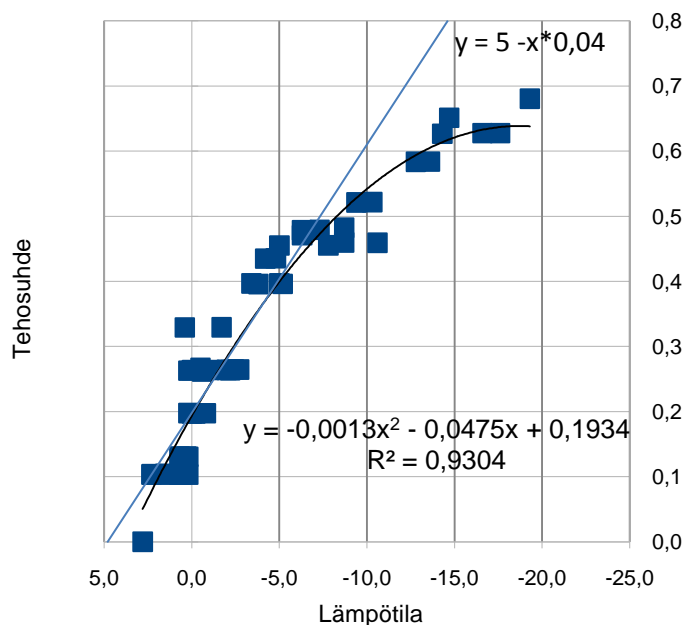
Termotakt laitteen iän vuoksi laitteen toimintaa mallinnettiin syyskuun loppupuolelta aina joulukuun puoleen väliin saakka. Mittauspisteitä kertyi yhteensä noin 50 kappa-

letta +2,6...-19,3 °C väliltä. Saaduista mittapisteistä voitiin näin tehdä ohjauskartta, jolla laitteen toimintaa voidaan jäljitellä laitevertailua tehtäessä. Mittauksilla pyrittiin myös selvittämään, ovatko laitteen toimintapisteet merkittävästi muuttuneet asen-
nusajankohdan jälkeen.

Mittauspisteiden välillä oli toisinaan pientä hajontaa, joka selittyy osittain ohjausjärjes-
telmän ja kontrollipisteen välisellä etäisyydellä sekä antureiden sijainnilla. Tästä huo-
limatta saadut mittaustulokset ovat vähintäänkin tarkkuudeltaan riittäviä, jotta mallin-
taminen voidaan suorittaa luotettavasti. Tuloksista saatu säätökäyrä seuraa mittaus-
pisteitä noin 93 % tarkkuudella.

Mittauspisteillä selvitettyä säätökäyrän funktiota voidaan käyttää vain -19,3 °C lämpö-
tilaan asti, koska tätä alemmista lämpötiloista ei ole mittauspisteitä. Kaavalla saatu
tulos tätä alemmissa lämpötiloissa on virheellinen. Uutta vastaava laite saavuttaa
tehosuhteen 1,0 lämpötilassa -25 °C. Toisin kuin suoralle saatu yhtälö antaa ymmär-
tää, tätä suurempaa tehosuhdetta ei ole mahdollista saavuttaa. Sähkönsyötön ohjaus
on tätä alemmissa lämpötiloissa jatkuvasti päällä.

Termotakt -ohjaus



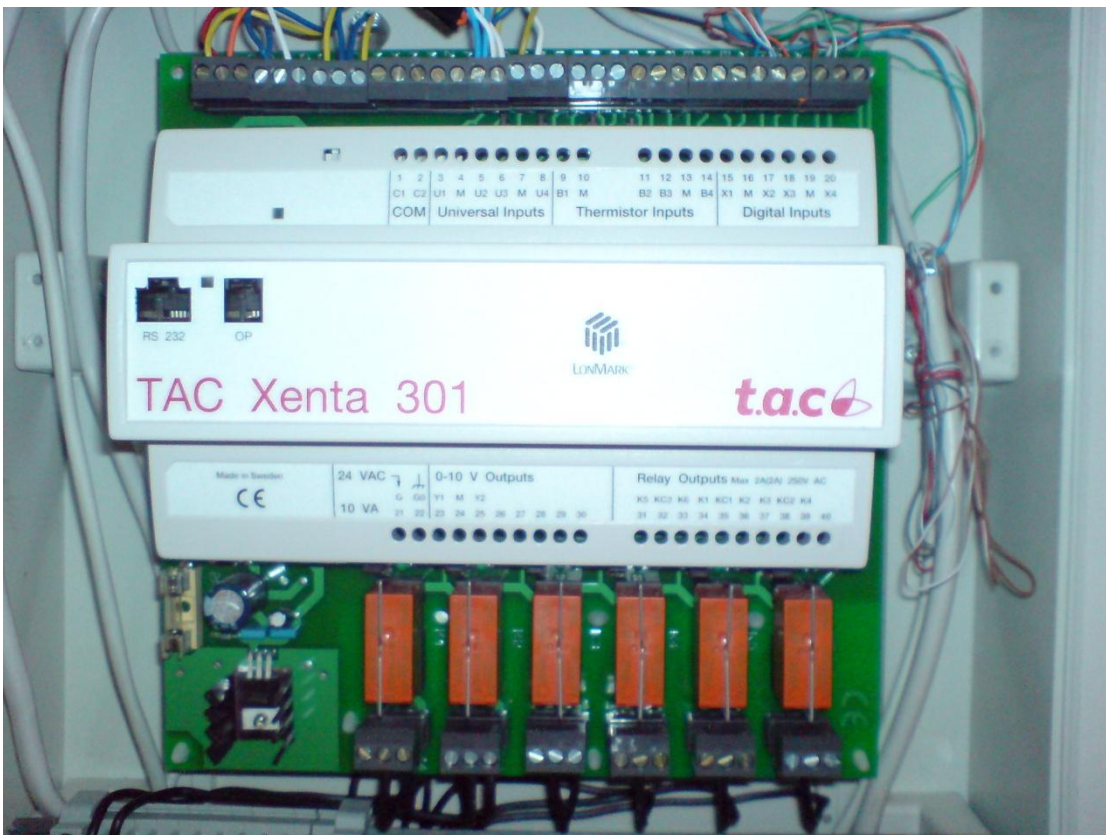
KUVA 2. Termotakt -laitteen syöttämän sähkön tehollisarvo prosentteina lämpötilan
funktiona. Kuvasta ilmenee myös uuden vastaavan järjestelmän toimintakäyrä (suo-
ra) sekä säätökäyrille lasketut yhtälöt.

Termotakt ohjaa kontaktorien välityksellä alueen sähkönsyöttöä noin 290 sekunnin jaksoissa. Ulkolämpötila vaikuttaa aikaan, joka tästä ajasta syötetään sähköä. Pie-nimmillään laite antaa alueen pistorasioihin virtaa 29 sekunnin ajan ja vastaavasti pitää pistorasiat jännitteettömänä 261 sekuntia. Näin ollen pitkällä tarkasteluvälillä moottorin lohkolämmitin lämmittää auton moottoria nimellistehostaan kymmenesosan suuruisella teholla.

5.2 TAC Xenta

TAC Xenta on ohjelmoitava säätöautomaation ohjauslaite, jota käytetään yleisesti kiinteistöjen lämmityksen ja ilmanvaihdon ohjaukseen. Laite on liitettävissä LON-väylään, jolloin se voi ohjata muita väylään liittyviä laitteita. Vastaavasti muut väylällä toimivat laitteet voivat myös käyttää Xenta yksikön tarjoamia tietoja.

TAC Xenta -laitteen ohjelmointi tapahtuu PC-tietokoneella ja TAC Vista ohjelmistolla. Opinnäytetyötä varten laitteeseen tehtiin ohjelma, joka jäljittelee Termotakt:n säätökäyrää. Säätekäyrän ja ulkoilman lämpötilatiedon perusteella ohjattiin laboratorion sähkökeskukseen asennettua pistorasiaa ja tätä kautta testiauton lohkolämmitintä.



KUVA 3. Koulun valvomon TAC Xenta 301 säädin ja liityntäkortti, joka mahdollistaa erillisillä releillä suurempien kuormitusten ohjaamisen. Kuva Marko Kauranen, 2010.

TAC Xenta -säätimen ohjelmoinnin opinnäytetyötä varten suoritti Jukka Savolainen Schneider Electricin Kuopion toimipisteestä. Laitteeseen tehdyllä ohjelmalla voitiin simuloida Termotakt laitteen toimintaa ja tallentaa erillisten lämpötila-antureiden välittämiä lämpötilatietoja tietokoneelle.

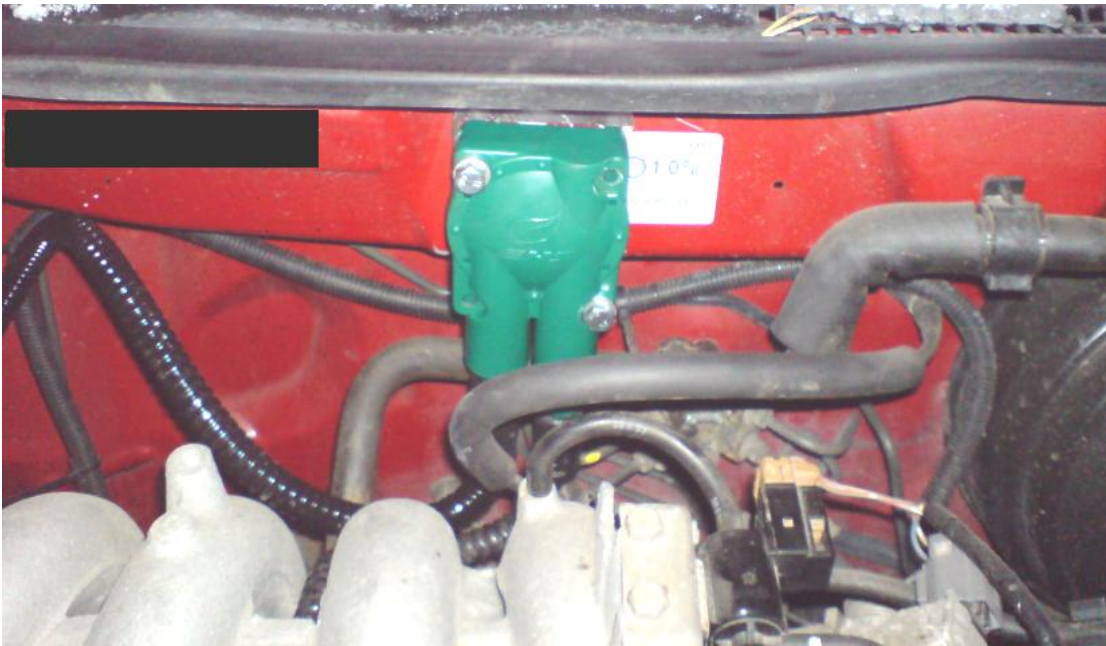
Xenta säätimeen kytkettiin viisi termistorityyppistä lämpötila-anturia, jotka rekisteröivät jäädyttäjän vesiletkujen, moottorin yläosan ja moottorilohkon veden lämpötilat minuutin välein. Tätä tiheämpää näytteenottoa ei katsottu tarpeelliseksi, sillä muutosnopeudet mittauksissa ovat varsin pieniä.

5.3 Lohkolämmittimen EHS-termostaatti

EHS-termostaatti (Economic Heating System) on moottorin lämpötilaa valvova laite, jolla voidaan ehkäistä moottorin liiallista lämmittämistä. Laite tunnistaa moottorista nousevan lämmön ja pyrkii pitämään sen asetelluissa rajoissa. Laitteen toiminnan lämpötila-rajat ovat kiinteät ja ne eivät näin ollen ole säädettävissä.

Käytännössä laite toimii kuten termostaatti, eli katkomalla lohkolämmittimelle menevää virtaa, kun kytkentälämpötila saavutetaan. Valmistajan mukaan säästöä suoraan sähkölämmitykseen verrattuna voi syntyä jopa 80 % (Solentia Oy). Käytännössä laitteella saatava energiansäästö on suurimmillaan leudoilla keleillä, kun moottorin lämpötilan ylläpitämiseen vaaditaan vain vähän tehoa. Ulkoilman lämpötila noustessa riittävästä, ei moottorin lohkolämmittimelle ohjata ollenkaan tehoa, vaan laite jää odottamaan ilman viilenemistä.

Laitteen toiminta mahdollistaa myös energian säästämisen ylläpitolämmityksessä, kun ajoneuvo kytketään ajon jälkeen lämmitykseen. Tällöin termostaatti jää odottamaan moottorin jäähtymistä ja aloittaa lämmityksen vasta, kun moottorin lämpötila on laskenut riittävän alas. Näin valmiiksi lämmintä moottoria ei lämmitetä turhaan.



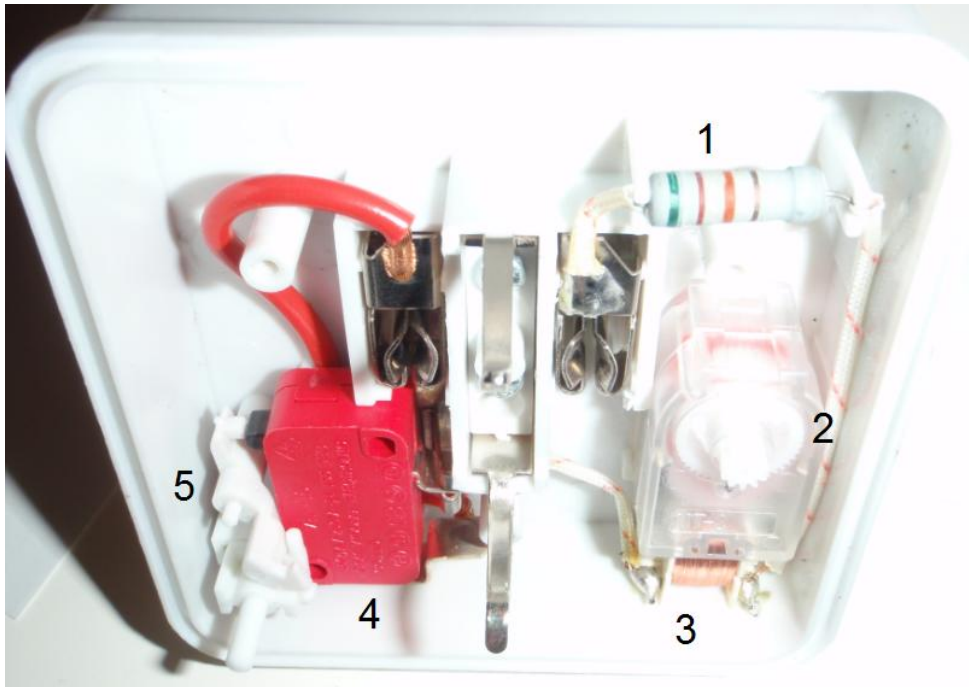
KUVA 4. EHS-termostaatin alustava asennus moottoritilaan. Kuva Marko Kauranen, 2010.

5.4 Ajastinkello

Perinteinen mekaaninen ajastinkello on rakenteeltaan varsin yksinkertainen ja koostuu mekaanisesta kytkinkoneistosta, vaihtovirtamoottorista ja alennusvaihteistosta. Kellon moottori on luonteeltaan tahtimoottori ja toimii näin ollen verkkosähkön tahdistamana. Moottori pyörittää alennusvaihteistoa, joka alentaa nopeutta siten, että valintakiekko pyörii haluttua nopeutta.

Mekaanisia ajastinkelloja on yleensä saatavilla vuorokausi ja viikkokellolla, jolloin kellon ohjelmointilevyyn voidaan nimen mukaisesti ohjelmoida joko vuorokausi tai viikkokohtaiset lämmitysajat. Paikoitusalueilla käytetään kuitenkin varsin yleisesti kiinteällä 2 h lämmitysajalla olevia kellomalleja, joiden kiertoaika on 24 h.

Markkinoilla on myös saatavilla digitaalisia kelloyksiköitä, jotka pystyvät omalla lämpötila-anturilla selvittämään ulkolämpötilan ja aloittamaan moottorin lämmityksen riittävän ajoissa ennen laitteeseen ohjelmoitua lähtöaikaa. Vertailussa on kuitenkin syvennytty vain kahden tunnin esiajastimen käyttöön sen edullisuuden vuoksi.



KUVA 5. Yksinkertaisen ajastinkellon koneisto ja sen rakenne. 1: Moottorin 570Ω esivastus, 2: Alennusvaihteisto, 3: Moottorin käämitys, 4: Kytkin, 5: Valintakoneisto. Kuva Marko Kauranen, 2010.

Kuvassa 5 on esitetty yksinkertaisen ajastinkellon koneisto. Alennusvaihteen (2) akseli pyörittää valintakiekkoa, jossa on ohjelmointilevy (ei kuvassa). Valintakoneisto (5) painaa kytkintä (4), kun ohjelmointilevyssä saavutetaan kohta, joka on valittu lämmityshetkeksi. Kuvan kellokoneiston moottoria ei ole alun perin suunniteltu 230 V nimellijännitteelle, joten moottoriin vaikuttavaa jännitettä on alennettu esivastuksella (1).

6 MITTAUKSET

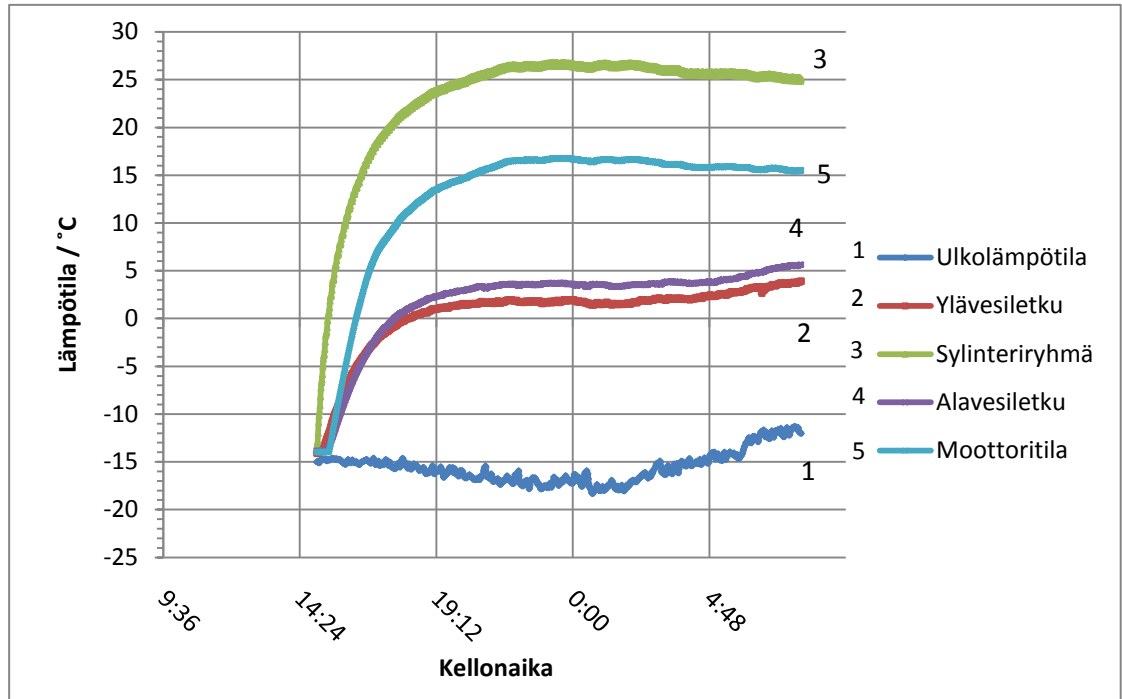
Mittausten tarkoituksena oli selvittää eri ohjauslaitteiden vaikutus moottorin lämpenemään ja lohkolämmittimen energian kulutukseen. Tuloksista pyrittiin näin muodostamaan vertailukelpoinen tulos eri laitteiden välillä. Mittauksissa huomioitiin myös Motivan suositukset lohkolämmittimen käyttöajasta ennen EHS-termostaatille tehtyä koetta, jossa pyrittiin selvittämään taajama-ajon jälkeen kuluva aikaa, jolloin laite kytkee lohkolämmittimen toimintaan.

Laitteiden testausympäristönä toimi Mazda 626-GW 1,8i -henkilöauto, joka oli varustettu nimellisteholtaan 540 W lohkolämmittimellä. Lämpötila-anturit asennettiin molempiin jäähdyttäjän vesiletkuihin ja sylinterikanteen hyvin eristettynä. Eristeaineena käytettiin muotoiltua polyuretaanilevyä. Eristyksen tarkoituksena oli estää anturin jäähtyminen ja antaa todenmukaista tietoa mittauspisteiden lämpötiloista.

Moottorin yläosaan asennettu anturi rekisteröi ympäröivät ilman lämpötilaa EHS-termostaatille varatun asennuspaikan vierestä. Lämpötila-antureina mittauksissa toimivat Schneider Electricin 1,8 k Ω NTC termistorit. Käytetyt termistorit olivat kuparikelossa, joka osaltaan nopeuttaa lämmön johtumista mittauspisteestä anturiin. Anturit kytkettiin TAC Xenta yksikköön JAMAK instrumentointikaapelilla.

6.1 ASEA SKANDIA Termotakt

Termotakt laitteen mittaukset suoritettiin noin -15 °C pakkasessa. Mittausten alussa havaittiin heti, että moottori ei lämpene yhtä nopeasti kuin mitä suora lämmitys mahdollistaisi. Tämä johtuu Termotakt laitteen toimintaperiaatteesta, eli keskimääräisen tehon säädöstä. Newtonin lämpölain mukaisesti lämpenevän moottorin käyrä vastaa suurin piirtein 340 W teholla toimivan lämmitysvastuksen toimintaa. Myös laitteen säätökäyrältä saatava piste vastaa keskiteholtaan noin 340 W tehoa. Säätökäyrällä tämä tarkoittaa pistettä, jossa laite antaa sähköä noin 61 % jakson ajasta.



KUVA 6. Termotakt-laitteella ohjattu lohkolämmitin ja ohjauksen vaikutus moottorin lämpötiloihin.

Termotakt-laitteen vahvuus on aktiivinen säätö, joka tapahtuu jokaiselle kytkentäjaksolle erikseen. Näin ollen laite pystyy reagoimaan hyvin nopeasti muuttuvaan ulkoilman lämpötilaan. Vastaavasti heikkoutena on lohkolämmittimen alentunut teho, jolloin auton moottori ei lämpene yhtä nopeasti, kuin mitä suoralla sähkölämmityksellä lämmitetty moottori. Moottorin jäähdytysnesteen lämpötila vaihteli mittauksen loppupuolella noin kolmen asteen sisällä.

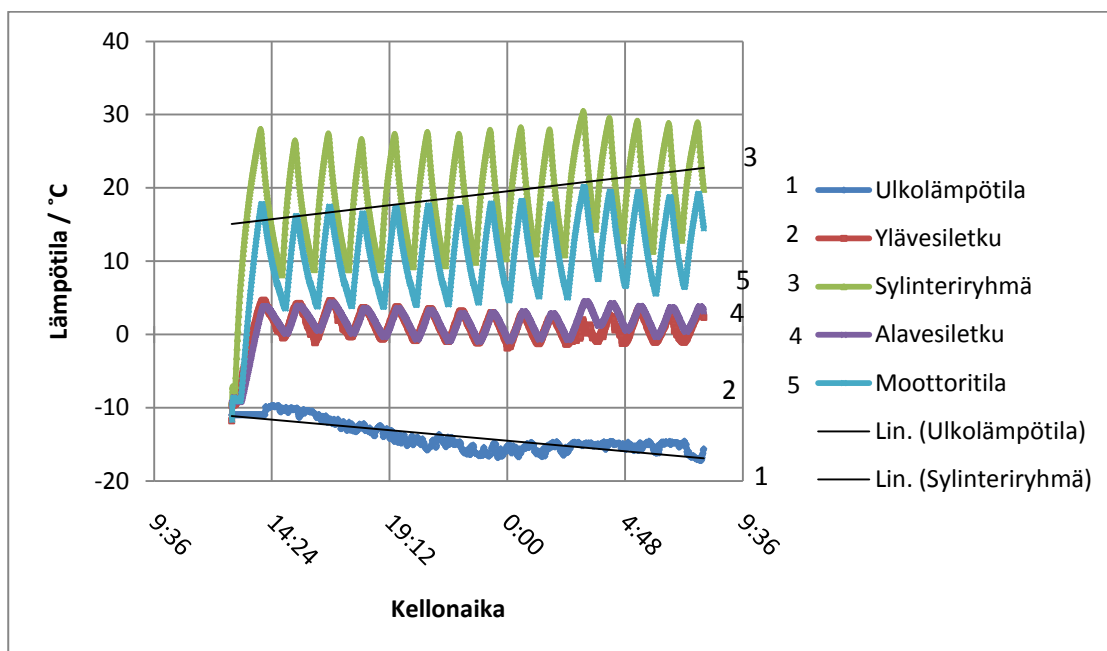
Taulukko 2. Termotakt mittausten yhteenveto.

Moottorin lämpötilan keskiarvo	23,11 °C
Ulkolämpötilan keskiarvo	-15,57 °C
Lämpötilojen erotus	38,69 K
Keskimääräinen lämmitysteho	347 W
Käytetty energia	5,90 kWh
Kokonaisaika	17 h

6.2 Lohkolämmittimen EHS-termostaatti

EHS-termostaatilla varustettu lohkolämmitin kytkettiin mittaukseen noin -11 °C lämpötilassa. Aikaisemmista mittauksista oli kulunut noin vuorokausi. Tällä varmistettiin

moottorin ja sitä ympäröivän massan riittävä jäähtyminen. Mittaustuloksissa huomio kiinnittyi ensimmäisenä suureen lämpötilojen vaihteluun, joka oli moottorin jäähdytysnesteessä jopa 17 astetta.



KUVA 7. Moottorin lämpötilojen muutokset käytettäessä EHS-termostaattia. Lineaariset suorat esittävät lämpötilan keskiarvon kehittymistä.

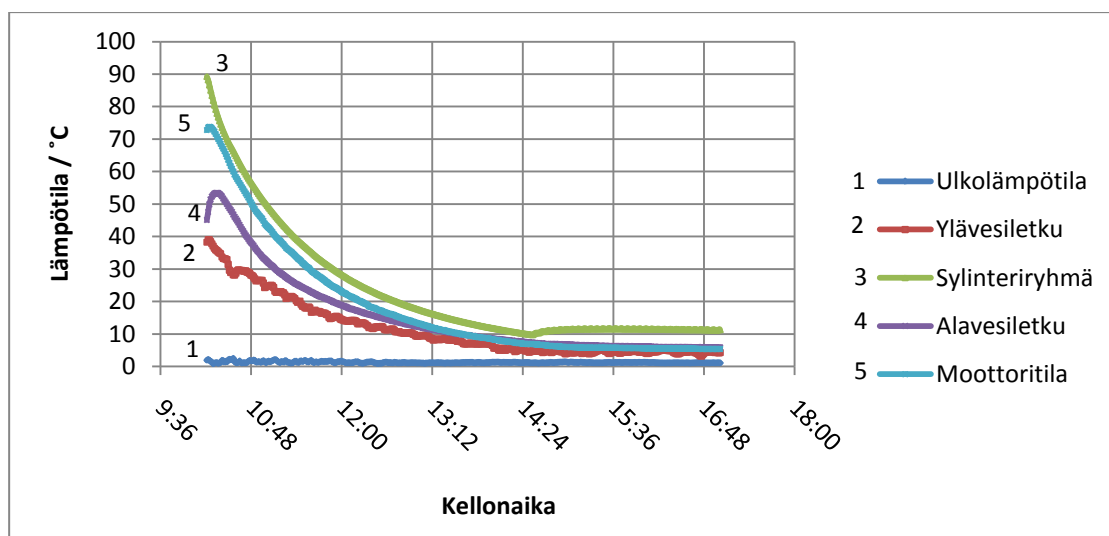
Kuvassa seitsemän on piirretty suorat sylinteriryhmän ja ulkolämpötilan keskilämpötilojen mukaan. Näistä suorista voidaan nähdä moottorin keskilämpötilan ja ulkolämpötilan kehittyminen. Mittausten perusteella vaikuttaisi siltä, että moottorin lämpötila nousee ulkolämpötilan laskiessa.

Mittaustuloksissa on kuitenkin nähtävissä lämpötilojen heilahdus noin klo 3. Tällöin moottorin lämpötilan ja moottorin nesteiden lämpötilat nousevat askelmaisesti noin parin lämpöasteen verran ylöspäin. Lämpötilojen muutokselle ei ole mittausdatassa näkyvää selitystä. Mittausalueella tuolloin puhaltanut tuuli näkyy jäähdyttäjän nesteen lämpötilojen hetkellisenä muutoksena (ylävesiletkun lämpötila), mutta tämä ei riitä selittämään laitteen toimintapisteen siirtymistä parilla asteella ylöspäin. Jos auton konepelti olisi avattu mittausten aikana, olisi tämä nähtävissä moottorin lämpökäyrässä.

Taulukko 3. EHS mittauksen yhteenvedo.

Moottorin lämpötilan keskiarvo	18,91 °C
Ukolämpötilan keskiarvo	-14 °C
Lämpötilojen erotus	32,91 K
Keskimääräinen lämmitysteho	285 W
Käytetty energia	5,5 kWh
Kokonaisaika	19,25 h

Toisessa EHS-termostaatille suoritetussa mittauksessa pyrittiin selvittämään aikaa, joka kuluu lämmityksen päälle kytkeytymiseen, kun auto liitetään ajon jälkeen lämmitykseen. Mittauksen mukaan tähän kului 0 °C ulkolämpötilassa 2 h 15 min. Lämmitys kytkeytyi, kun moottorin lämpötila laski noin kymmeneen lämpöasteeseen. Moottorin lämpötila oli tuolloin EHS-termostaatin korkeudella noin +5 °C.



KUVA 8. Moottorin sammuttamisen jälkeinen lämpötilojen muutos ja lämmityksen kytkeytyminen sylinteriryhmän jäähtyessä.

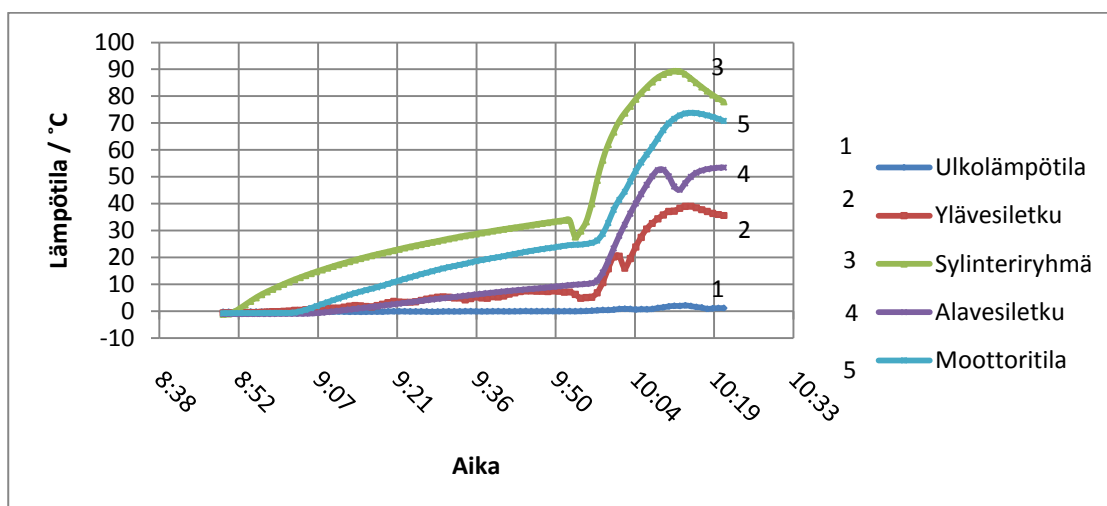
Toimintaperiaatteensa ansiosta EHS-termostaatilla moottori saavuttaa nopeasti noin +20 °C lämpötilan. Kylmällä moottorilla suoritetuilla mittauksilla lämpötila kuitenkin vaihteli jopa 17 astetta, joka aiheutui pitkistä lämmitys- ja jäähtymisajoista. Keskimääräinen lämmitysaika olikin noin 45 minuuttia ja jäähtymisaika noin 30 minuuttia.

Lämpimällä moottorilla suoritetuissa mittauksissa lämpötilan vaihtelu jäi alle 0,5 lämpöasteen. Tällöin lämmitys ja jäähtymisajat olivat lyhyimmillään muutamia kymmeniä sekunteja.

6.3 Ajastinkello

Motivan suositusten mukaan moottorin esilämmitintä tulisi käyttää $-5...+5$ °C ulkolämpötilassa puoli tuntia. Mittausten suoritushetkellä vallitsi nollakeli, jolloin moottori saavutti puolessa tunnissa $+23$ °C lämpötilan. Tunnin yhtäjaksoisen lämmityksen jälkeen moottorin jäähdytysneste oli lämminnyt $+33$ °C lämpötilaan.

Mittaus toistettiin -11 °C ulkolämpötilassa, jossa Motivan suositusten mukaisessa ajassa (1 h) moottori saavutti lämpötilan $+25$ °C.



KUVA 9. Moottorin esilämmityksen ja lyhyen ajomatkan vaikutus moottorin lämpötiloihin.

Ajastinkellolla lämmitetty moottori ei kuluta energiaa lämpötilan ylläpitämiseen ja on näin ollen energiatehokkain. Moottori saavuttaa myös suoran sähkönsyötön ansiosta nopeasti tavoitelämpötilan, jos ajastimen lämmitysaika on säädetty oikein.

6.4 Mittaustulosten arviointi matemaattisesti

Mittaustuloksia arvioitiin Newtonin jäähtymislaista johdetuilla kaavoilla. Tarkastelu osoittaa, että moottorin lämpötilan kehittyminen on mahdollista selvittää laskennallisella esimerkillä, jos nesteiden kierto pysyy säännöllisenä, eikä muutu äkillisesti esimerkiksi avautuvan tai sulkeutuvan termostaatin vuoksi.

Testiauton mittaustuloksista voitiin nähdä, että osa lämmöstä lähtee siirtymään välittömästi lämmityksen alettua sylinterilohkosta jäähdyttäjään. Tämän johdosta testiauton moottorin alavesiletkussa sijaitseva termostaatti irrotettiin mittaussarjojen jälkeen ja mitattiin mahdollisen mekaanisen vian poissulkemiseksi. Termostaatti avautui valmistajan määrittelemässä avautumislämpötilassa oikein, joten termostaatti voitiin todeta ehjäksi. Avautuminen alkoi lämpötilassa +85 °C ja termostaatti oli täysin avautunut +93 °C lämpötilassa. Valmistajan antavat viitearvot ovat 88 ja 95 °C.

Termostaatin runkolevyyn on tehtaalla valmistusvaiheessa tehty pieni venttiili, ”jiggle valve”, joka sallii pienen virtauksen termostaatin ohitse, kun moottori on sammutettuna. Venttiilin tehtävänä on myös auttaa järjestelmässä mahdollisesti olevan ilman poistumista sylinterilohkosta. Lohkolämmityksen hitaudesta johtuen osa lämmöstä siis siirtyy termostaatin ohitse suoraan jäähdyttäjään, kun neste lämmitessään lähtee kiertämään järjestelmässä. Neste kiertää järjestelmässä ominaispaineen muutoksen aiheuttaman paineen seurauksena.

Moottorin lämpenemistä on mahdollista arvioida Newtonin jäähtymislain avulla. Myös muokattua RL-piirin kaavaa (6.1) voidaan käyttää arvioinnissa tietyin varauksin. Esitetty kaava 6.1 on lämpenevälle moottorille. Newtonin jäähtymislaissa esiintyvä vakio k on piirin aikavakion τ käänteisarvo.

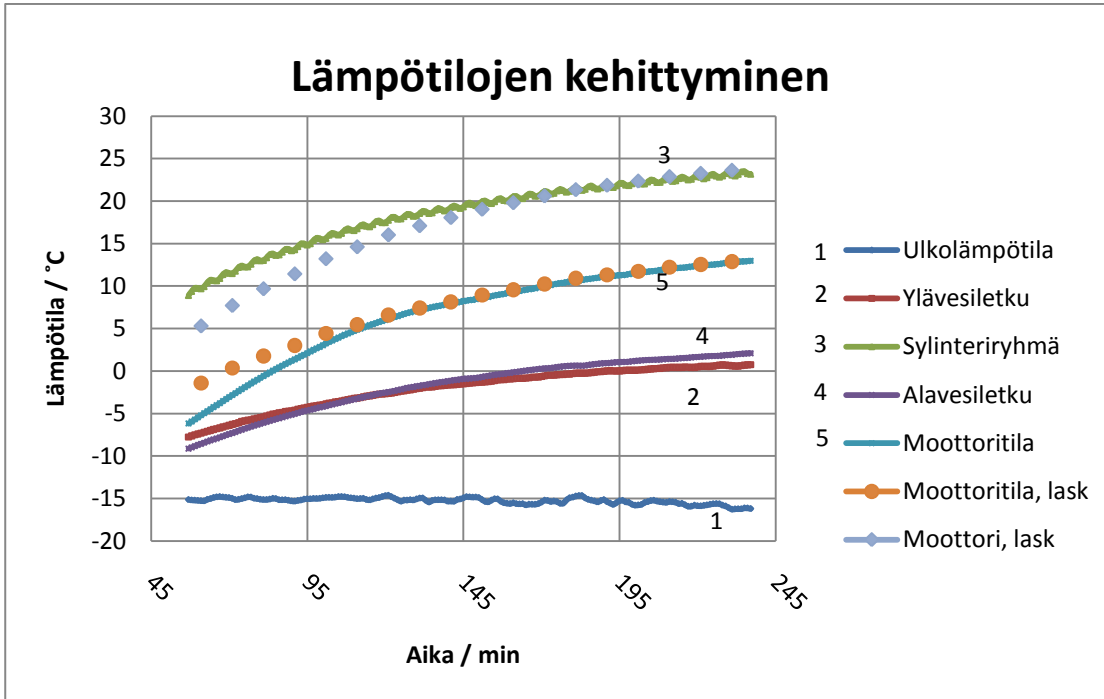
$$T(t) = T_a + \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) (T_0 - T_a) \quad [6.1]$$

jossa T on lämpötila, t on kulunut aika aloitustilanteesta, T_0 on aloitustilan lämpötila, T_a on ympäristön lämpötila, τ on järjestelmälle ominainen aikavakio.

Laboratoriomittauksissa määritettiin aikavakiot jäähtyvälle ja lohkolämmittimellä lämmitetyille. Jäähtyvän moottorin aikavakio helpotti osaltaan laboratoriomittausten järjestelyitä, koska moottorin jäähtyminen pystyttiin arvioimaan varsin luotettavasti. Muutaman asteen ulkolämpötilan muutokset tosin näkyivät heti jäähtymisajassa ja näitä ei pystytty aina järjestelyissä huomioimaan.

Kun moottoria lämmitetään lohkolämmittimellä, on tilanne lähtökohdaltaan hieman erilainen kuin jäähtyvällä moottorilla. Laskennallinen malli ei ota huomioon lämmön johtumista moottorissa tai sen osissa. Mittaustuloksien mukaan moottori lämpenee aluksi nopeammin, kuin laskennallinen malli. Tämä johtuu osaltaan lämpötila-anturin

sijainnilla, joka oli sylinterilohkon yläosassa. Lohkon yläosan ja alaosan nesteiden lämpötilaero voi olla useita lämpöasteita, koska lämmitysvastuksen kuumentama vesi pyrkii nousemaan ylöspäin.



KUVA 10. Moottoritilan ja vesiletkujen lämpötiloissa näkyvä muutos 120 min kohdalla.

Kuvassa 10 on esitetty lämpötilojen kehittyminen eri mittauspisteissä. Mittauspisteen kohdalla 120 min on selkeästi havaittavissa tilanne, jossa ylä- ja alavesiletkun lämpötilat kohtaavat ja nesteen kiertosuunta järjestelmässä muuttuu. Kuvaajassa on myös esitetty teoreettisen lämpenemän pisteet kymmenen minuutin välein. Kuten kuvaajasta voidaan nähdä, eivät lasketut ja mitatut arvot ole aivan yhteneviä, vaan tulokset leikkaavat tietyssä pisteessä.

Moottorin ja jäähdytysjärjestelmän lämpövastukseksi muodostui 0,11 kW. Lämpövastus on laskettu Termotakt mittauksista saaduista tuloksista. Mittauksista selvitetiin myös moottorin ja jäähdytysjärjestelmän aikavakio, joka on 96 minuuttia.

Näillä tuloksilla voidaan selvittää moottorin lämpenemä, kun tiedetään ulkoilman lämpötila. Tuloksista on myös mahdollista selvittää moottorin jäähtymiseen kuluva aika tai tietyn moottorin ja ulkoilman välisen lämpötilaeron ylläpitoon tarvittava tehon tarve tietyin varauksin.

Laskennallinen malli ei ota huomioon mahdollisesti jäähdytysjärjestelmässä tapahtuvaa jäähdytysnesteen kiehumista ja nesteen höyrystymiseen kuluvaan energian määrää. Saatua lämpövastusta 0,11 K/W on mitattu testauksissa käytetyllä Mazda 626-1.8i -henkilöautolla ja lohkolämmittimellä.

Mittauksissa havaittiin myös, että 220 ja 230 V jännitteille mitattaessa lohkolämmittimestä saatava teho muuttuu noin 8,5 %. Tällä ei kuitenkaan ole mainittavaa vaikutusta moottorin lämpenemiseen, vaan vaikutus on suositelluilla lämmitysajoilla käytetyssä testiautossa enimmillään kolmen lämpöasteen luokkaa. Lohkolämmittimen lämpövastuksen teho voidaan laskea kaavalla 6.2, kun tunnetaan lämpövastuksen resistanssi ja käytettävä jännite.

$$P = \frac{U^2}{R}$$

[6.2]

7 SEURANTAJAKSO JA MITTAUKSET PAIKOITUSALUEELLA

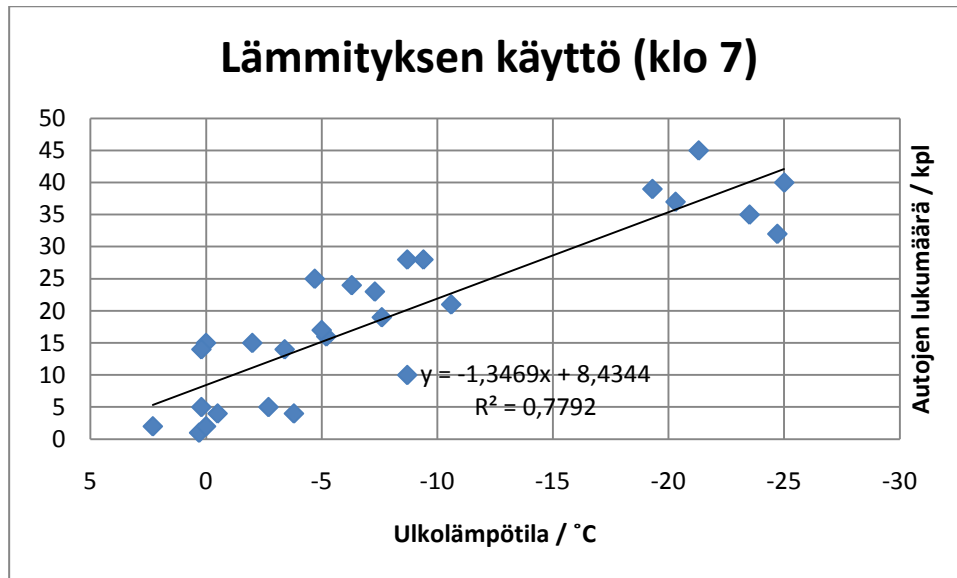
Tekman Tuki ry:n opiskelija-asuntojen paikoitusalueella seurattiin viiden kuukauden ajan lämmitykseen kytkettyjen autojen lukumäärää. Seurantakierroksia oli mahdollisuuksien mukaan kolme vuorokaudessa ja ne ajoituivat aamuun, iltapäivään ja iltaan. Jokaisella kierroksella laskettiin ajastinkellollisten ja Termotakt ohjauksessa olevien autojen lukumäärä. Myös lämpötila merkittiin jokaiselta mittauskerralta ylös.

7.1 Termotakt lämmityspaikat

Termotakt ohjatut lämmityspaikat ovat käytössä päivittäin kello 5...22 välisenä aikana. Tänä aikana niiden sähkönsyöttöä ohjataan ulkolämpötilan mukaan. Paikoitusalueen käyttäjät vaikuttaisivat myös seuraavan säätiedotuksia, sillä alueen lämmitykseen kytkettyjen autojen määrässä ei tapahtunut suurta poikkeusta, vaikka lämpötila muuttui parhaina päivänä yli kymmenen astetta.

Lämmitykseen kytkettyjen autojen ja ulkolämpötilan riippuvuutta on arvioitu lineaarisella regressiolla. Tämä lineaarinen malli mahdollistaa tulosten yksinkertaisen vertailun. Joissakin olosuhteissa mallin käyttöön liittyy riski, että suoran yhtälöstä saatu arvio lämmityksessä olevien autojen lukumäärästä ylittää suurimman mahdollisen lukumäärän. Tällä paikoitusalueella vaikuttaisi seurannan perusteella kuitenkin siltä, että ajoneuvoista on enimmillään noin kolmannes lämmityksessä, joten lineaarisen regression käytöllä saadaan hyvin luotettava arvio.

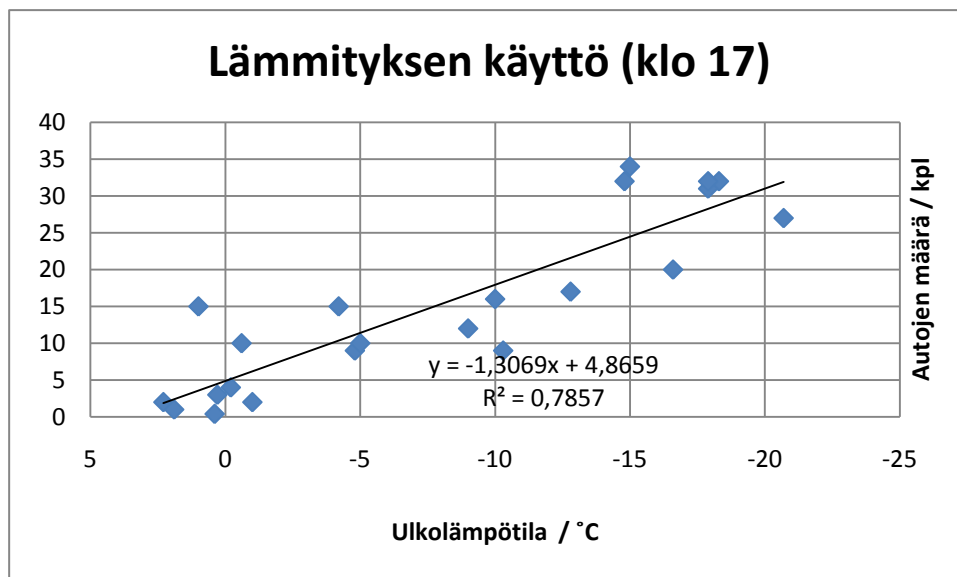
Jokaiselle arvosarjalle on laskettu myös niin kutsuttu selitysaste, R^2 . Selitysaste kertoo miten suuren osan kokonaisvaihtelusta malli selittää (Lehikoinen). Selitysaste voi saada arvon välillä 0...1. Luku 0 tarkoittaa, että pisteet eivät ole lainkaan riippuvaisia ja luku 1 tarkoittaa erittäin suurta riippuvuutta.



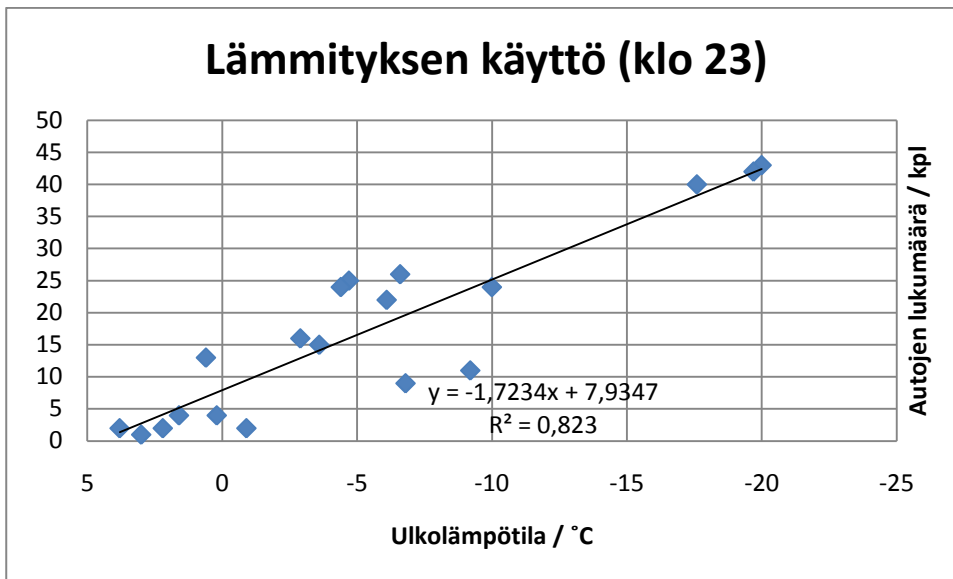
KUVA 11. Lämmitystä käyttävien autojen lukumäärä Termotakt paikoilla klo 7. Kuvassa on myös esitetty tuloksista laskettu lineaarisen regression suora, sen yhtälö sekä selitysaste.

Kuvassa 11 on esitetty mittausjaksolla klo 7 tehdyt havainnot lämmitykseen kytkettyjen autojen lukumäärästä. Lineaarisen mallin mukaan lämmitykseen kytkettyjen autojen lukumäärä selittyy 78 prosenttisesti riippuvuudella ulkolämpötilaan.

Termotakt ohjattujen paikkojen seurannasta saatujen tulosten selitysaste on yli 77 %, joten tuloksia voidaan pitää hyvin luotettavina tällä kyseisellä paikoitusalueella.



KUVA 12. Lämmitystä käyttävien autojen lukumäärä Termotakt paikoilla klo 17. Kuvassa on myös esitetty tuloksista laskettu lineaarisen regression suora, sen yhtälö sekä selitysaste.

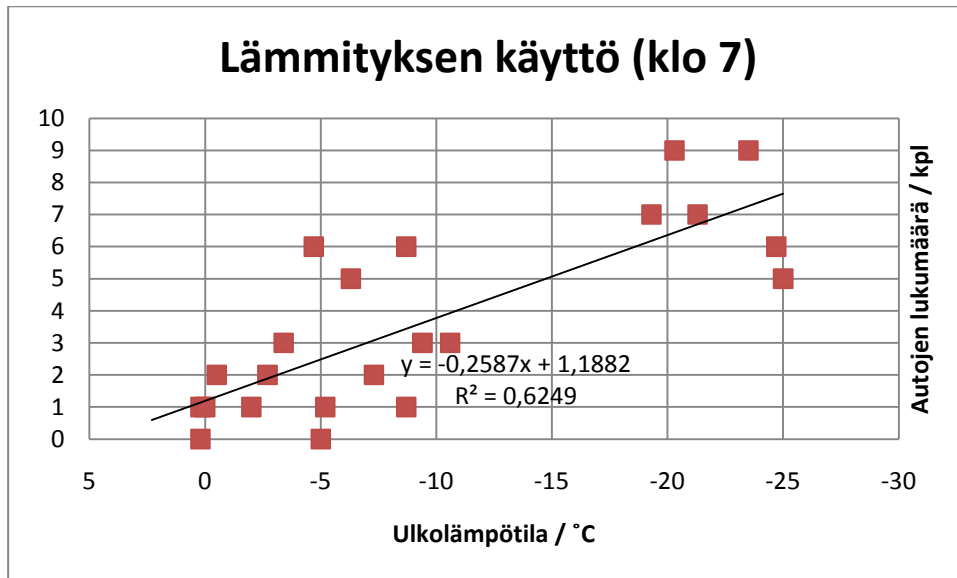


KUVA 13. Lämmitystä käyttävien autojen lukumäärä Termotakt paikoilla klo 23. Kuvassa on myös esitetty tuloksista laskettu lineaarisen regression suora, sen yhtälö sekä selitysaste.

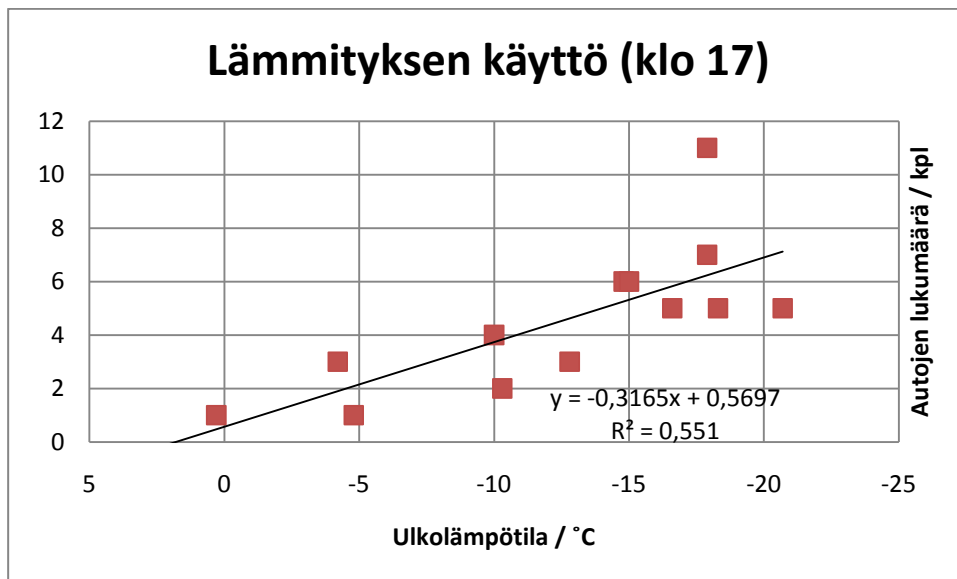
7.2 Ajastinohjatut lämmityspaikat

Lämmitysohjatuille suoritettu käytönseuranta ei tuottanut tarkkuudeltaan yhtä hyviä tuloksia, mitä Termotakt paikoilta saatiin. Osittain tämä selittyy paikkojen pienellä lukumäärällä, jolloin hajontaa syntyy hyvin nopeasti, jos pieni osa autoista jää kytke-mättä jostakin syystä lämmitykseen.

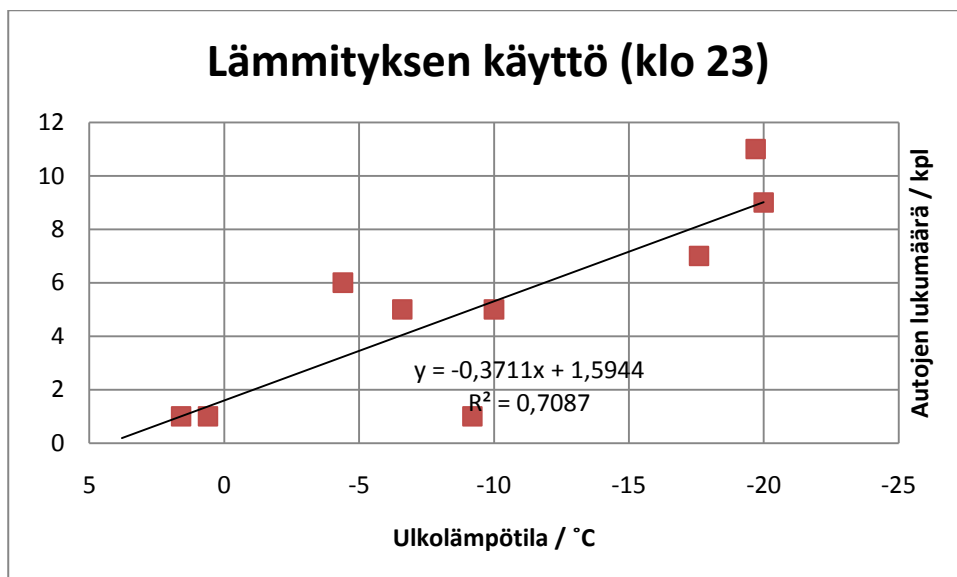
Ajastinkellollisilta lämpöpaikoilta kerättyjen tulosten tarkkuus vaihtelee 63...70 % vä-lillä. Tätä voidaan pitää kohtuullisena tuloksena, koska seurattavien paikkojen luku-määrä oli alhainen.



KUVA 14. Ajastinkellollisten autopaikkojen käyttö klo 7. Kuvassa on myös esitetty tuloksista laskettu suora sekä sen funktio. Tuloksista on laskettu myös selitysaste.



KUVA 15. Ajastinkellollisten autopaikkojen käyttö klo 17. Kuvassa on myös esitetty tuloksista laskettu suora sekä sen funktio. Tuloksista on laskettu myös selitysaste.



KUVA 16. Ajastinkellollisten autopaikkojen käyttö klo 23. Kuvassa on myös esitetty tuloksista laskettu suora sekä sen funktio. Tuloksista on laskettu myös selityysaste.

Seurantajaksolla klo 23 kierroksella oli 11 kertaa tilanne, jolloin yhtään autoa ei ollut kytkettynä ajastinkelloon. Näillä kerroilla ulkolämpötila oli lämpimämpi kuin -7 °C . Tämä näkyy saatujen tulosten vähyysnä.

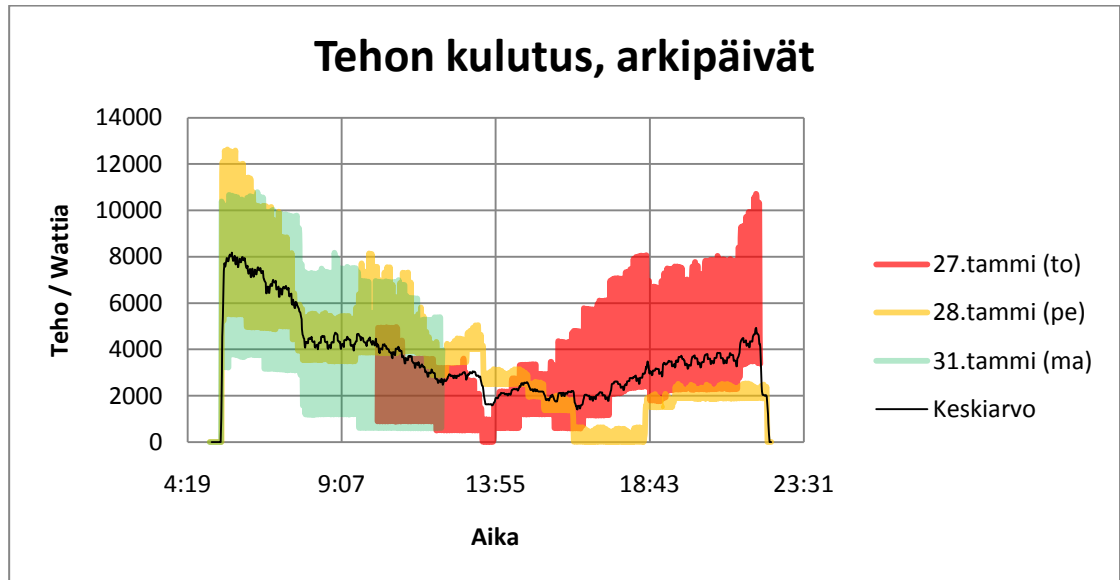
Vastaavanlainen tilanne nähtiin myös klo 17 tehdyillä kierroksilla. Tällöin yhdeksällä kerralla oli tilanne, jolloin yhtään autoa ei ollut kytkettynä lämmitykseen. Myös tällöin ulkoilman lämpötila oli lämpimämpi kuin -7 °C .

7.3 Tehonmittaukset paikoitusalueella

Paikoitusalueella suoritettiin tehonmittauksia tammikuun lopussa, jolloin mittausdataa tallennettiin torstaista (27.1) aina maanantaihin (31.1). Mittausdatasta pystyttiin arvioimaan alueen kuormituksen vaihtelua ja selvittämään yksittäisen auton keskimääräinen liityntäteho. Mittauksia ei ollut mittalaitteiden ja sähköpääkeskusten asettamien rajoitusten vuoksi mahdollista suorittaa koko paikoitusalueelle, vaan mittauspaikaksi valittiin Tekman D-rakennuksessa sijaitseva sähköpääkeskus, jonka sähkönsyötön piiriin kuuluu 66 autopaikkaa. Kokonaispaikkamäärästä tämä on huomattava määrä ja käsittää noin puolet Termotakt ohjatuista paikoista.

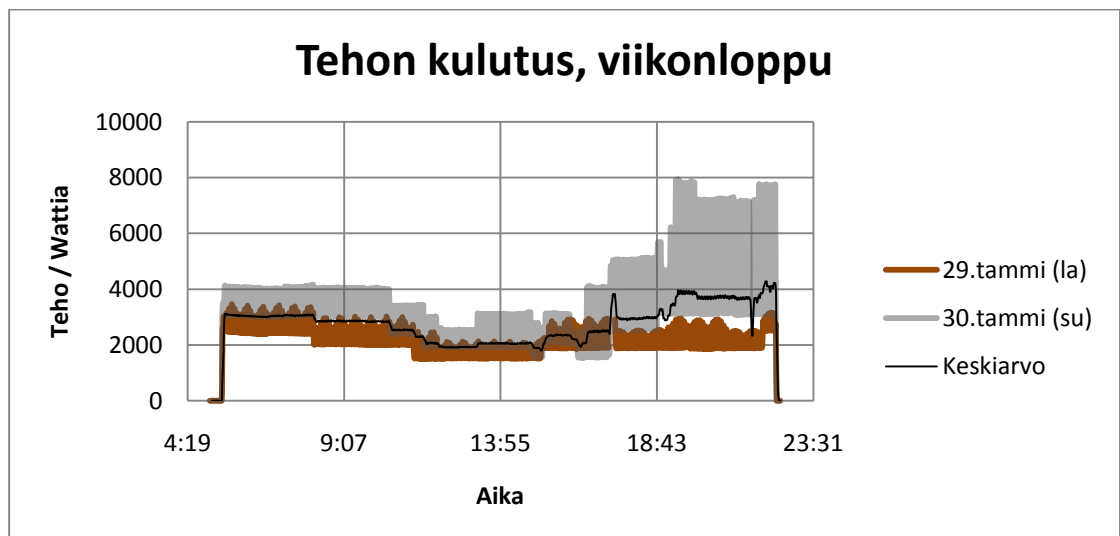
Kuvissa 17, 18 ja 19 on esitetty mittauksista saatu alueen tehonkäytön jakautuminen eri vuorokauden ajoille. Termotakt-laitteen toimintaa on kuvattu väritetyllä alueella ja tätä tehoa ei voi laskea suoraan kulutukseksi Termotakt-laitteen toimintatavan

vuoksi. Vaalea alue aika-akselin ja väritetyn alueen välillä on tehoa, johon Termotakt ei vaikuta. Osa paikoitusalueen paikoista ei siis noudata Termotakt ohjausta. Keskuksen sähkökaavioiden mukaan kaikki paikoitusalueen sähköpisteet kulkevat Termotakt ohjauksen kautta. Mittaustulosten valossa näyttäisi kuitenkin siltä, että osa kuormituksesta ohittaa Termotakt ohjauksen. Näin ollen on mahdollista, että sähkökeskuksessa on rikkoutunut tai kiinnihitsautunut kontaktori.



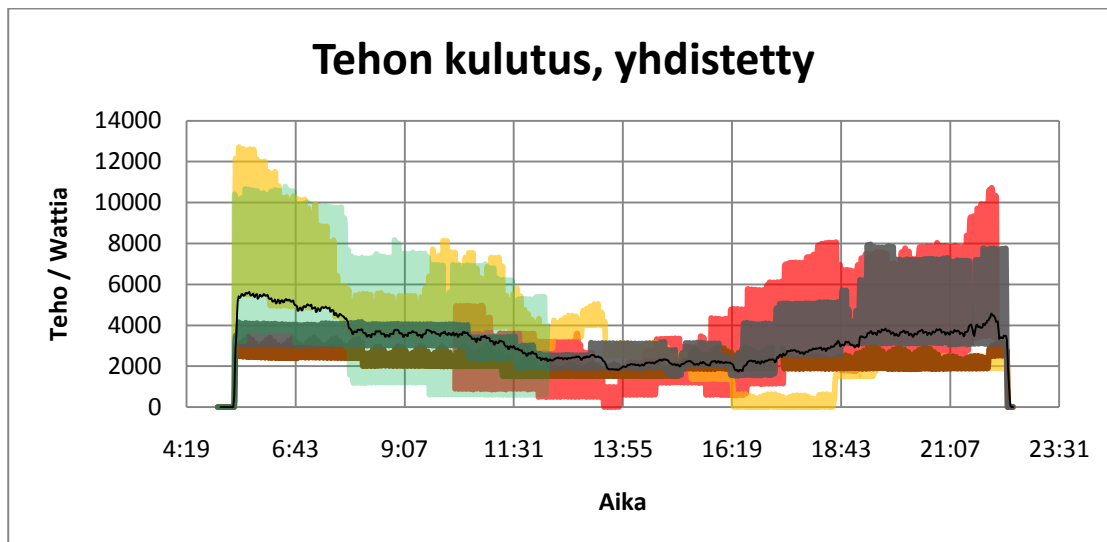
KUVA 17. Autopaikkojen tehonkäyttö ja sen jakautuma arkipäivinä klo 5...22 väliselle ajalle.

Paikoitusalueella arkipäivisin ollut kuormitus vastaa klo 5...22 välisenä aikana noin 3,60 kW jatkuvaa kuormitusta. Lämpötilan keskiarvo arkipäiviltä oli $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.



KUVA 18. Autopaikkojen tehonkäyttö ja sen jakautuma viikonloppuna klo 5...22 väliselle ajalle.

Viikonloppuna suoritettujen mittausten mukaan paikoitusalueella oli keskimäärin 2,80 kW jatkuva kuormitus. Keskilämpötila viikonloppuna oli 3,8 °C.



KUVA 19. Autopaikkojen tehonkäyttö ja sen jakauma, kun kaikki mittaustulokset klo 5...22 väliseltä ajalta on yhdistetty.

Muutaman päivän mittausdatasta saa hyvän kuvan autojen liikkuvuudesta paikoitusalueella. Kuten yhdistetystä tehojakaumasta voidaan nähdä, on suurin muutos arkipäivisin aamulla kello 8. Keskipäivää kohden kulutus laskee tasaisesti ja kääntyy nousuun iltapäivällä noin klo 16.

Yhdistetyistä mittaustuloksista laskettu keskimääräinen teho klo 5...22 välisenä aikana on noin 3,26 kW. Koko mittausjakson ajalta laskettu ulkoilman lämpötilan keskiarvo on 3,9 °C.

Fluke 434 -mittalaitteella tallennettiin tehojen lisäksi myös alueella kulunutta energian määrää. Alueella kulunut kokonaisenergian määrä on huomattavan suuri, vaikka mittausjakson aikana ulkolämpötila vaihteli -9...+4 lämpöasteen välillä.

Power & Energy				
FUND	11:56:35			
	L1	L2	L3	Total
kW	0.39	1.04	1.96	3.38
kVA	0.39	1.04	1.96	3.38
kVAR	0.01	0.03	0.01	0.03
PF	1.00	1.00	1.00	1.00
Cos ϕ	1.00	1.00	1.00	
kWh	6.596	11.88	23.55	42.03
kVAh	6.612	11.93	23.55	42.10
kVAh	±0.083	±0.177	±0.151	±0.411
START 01/27/11 10:13:25		11:56:34		
	PULSE CNT ON OFF	CLOSE ENERGY	MANUAL COUNT+I	RESET ENERGY

KUVA 20. Torstai 27.1 klo 10.13 aloitetun mittauksen energiankulutustiedot, kun mittaus on kestänyt 12 tuntia.

Power & Energy				
FUND	20:54:15			
	L1	L2	L3	Total
kW	0.00	1.51	0.00	1.52
kVA	0.01	1.51	0.01	1.53
kVAR	0.01	0.02	0.01	0.00
PF	0.28	1.00	---	0.99
Cos ϕ	0.30	1.00	---	
kWh	6.383	20.97	22.95	50.30
kVAh	6.455	21.01	22.96	50.42
kVAh	±0.042	±0.314	0.104	±0.252
START 01/27/11 22:12:15		20:54:15		
	PULSE CNT ON OFF	CLOSE ENERGY	MANUAL COUNT+I	RESET ENERGY

KUVA 21. Energian kulutus 27.1 klo 22:12 ja 28.1 klo 18:00 välisenä aikana.

Kuvissa 20 ja 21 on esitetty alueen energiankulutusta mitatuilta autopaikoilta. Mittausjakson aikana lämmityksessä oli noin kymmenen autoa, eli jokaista autoa kohden kulutusta oli vajaassa vuorokaudessa noin viisi kilowattituntia.

Mittausten mukaan autojen keskimääräinen liityntäteho alueella on noin 673 W. Tällä liityntäteholla ja energian määrällä yksi auto pystyisi olemaan suorassa sähkölämmityksessä yli seitsemän tunnin ajan. Tämä tarkoittaisi mittausjakson aikana vallinnees- sa ulkolämpötilassa seitsemää eri esilämmitysjaksoa jokaiselle autolle, jos autoja lämmitettäisiin Motivan suositusten mukainen aika.

Kun mittauksista lasketaan energian määrä, joka ei kulje Termotakt ohjauksen kautta, saadaan sen osuudeksi mittausjaksolla mitatusta kokonaisenergiasta 61 %.

Jos kaikki mittauksen alla olleet autopaikat olisivat Termotakt ohjauksen takana, las-
kisi mittausjakson aikana mitattu kokonaisenergian kulutus 39 %. Tällöin laskennassa
on käytetty keskilämpötilaa $-3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

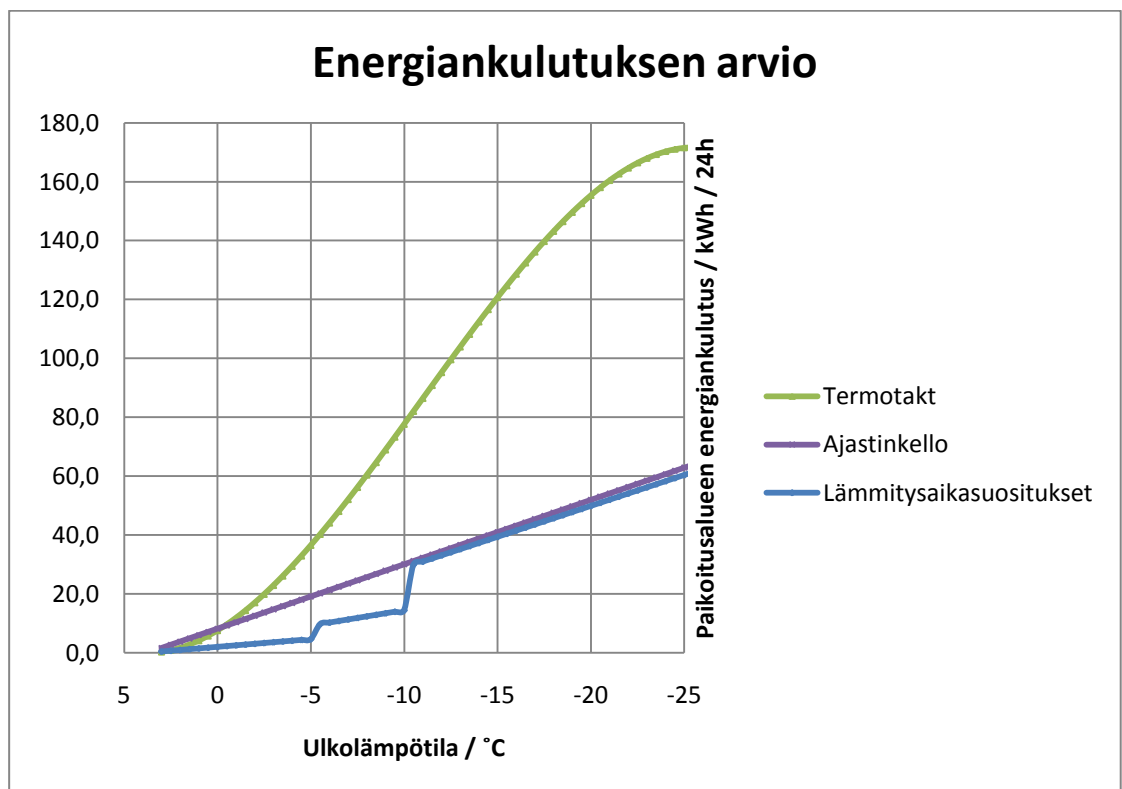
On huomattava, että mitatut keskitehot ja energiamäärät koskevat vain 66:tta auto-
paikkaa. Autopaikkojen yhteismäärä paikoitusalueella on 142. Näistä 114 on Termotakt ohjauksessa.

8 PAIKOITUSALUEEN ENERGIANKULUTUS

Paikoitusalueen energiankulutusta on pyritty mahdollisuuksien mukaan arvioimaan suoritettujen mittausten ja seurantajakson tulosten perusteella. Saadut tulokset ovat suuntaa antavia soveltuvat vain tämän paikoitusalueen arviointiin.

8.1 Paikoitusalueen energiankulutuksen arviointi

Paikoitusalueella tehtyjen laskentakierrosten ja mittausten perusteella näyttäisi siltä, että alueen käyttäjät pitävän autojaan lämmityksessä pisimmillään jopa 12 tuntia vuorokaudessa. Mittaustuloksissa on nähtävissä myös kuormituksen vaihteluita, jotka ovat suuruudeltaan yli 1,5 kW, eli huomattavasti yleismallin lohkolämmittimen vaatimaa tehoa suurempia. Oletettavasti nämä vaihtelut aiheutuvat sisätilalämmittimien käytöstä, sillä paikoitusalueella oli lumisateiden aikana havaittavissa useita autoja, joiden päälle ei tuoretta lunta juurikaan kertynyt.



KUVA 22. Energiankulutuksen arvio arkipäivälle, kun vertailuarvona käytetään ulkoilman keskilämpötilaa.

Kuvassa 22 on arvioitu paikoitusalueen energiankulutusta eri lämmityksen ohjaustavoilla ulkolämpötilan funktiona. Laskennassa on käytetty arvoja, jotka on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Energiansäästön laskennan perustiedot

Lohkolämmittimen teho	0,67	kWh
Lämmitysaika ajastimella / vrk	2,5	h
Lämmitysaika Termotakt:lla	12	h

Vertailua tehdessä on oletettu mittausten perusteella, että osa autoilijoista ajaa lämmitetyllä autolla useamman kerran vuorokaudessa. Suurimmillaan tämän määrän arvioidaan olevan tämän paikoitusalueen käyttäjistä noin joka viidennes.

Mittaustuloksista arvioituna keskimäärin auto on lämmityksessä aamulla klo 5...8 välisenä aikana noin kolme tuntia, illalla klo 17...22 välisenä aikana viisi tuntia. Kuormituskäyrästä on myös oletettu, että osa autoista on päivällä lämmityksessä noin neljä tuntia.

Kuormitusta arvioitaessa käytetään lineaarisen regression suoran yhtälöä (Kaava 8.1), joka saadaan klo 17 lämmityksessä olleiden autojen lukumäärästä (Kuva 12). Arvioinnissa käytetään klo 17 seurantajakson tuloksia, koska tuolloin risteävä liikenne paikoitusalueella on pienimmillään ja ajoneuvojen lukumäärä luotettavimmillaan. Ajoneuvojen määrällä eri kellonaikojen välillä ei ollut suuria eroja, mutta alueelle saapuva ja sieltä lähtevät autot hankaloittivat erityisesti klo 7 aikoihin arviointia. Virhe on enimmillään parin auton luokkaa.

Pieni osa lämmittimien käyttäjistä kytkee autonsa lämmitykseen klo 22 jälkeen, jolloin klo 23 arviointisuora ei välttämättä anna yhtä luotettavaa tulosta koko vuorokauden kulutuksesta.

$$-1,3069x + 4,8659 = A \quad [8.1]$$

jossa A on arvioitu lämmitystä käyttävien autojen lukumäärä, x on ulkoilman lämpötila.

Termotakt ohjauksessa olevien autojen sähkönsyöttö on jaksottaista ja tämä tulee ottaa huomioon laitteen toimintakäyrästä saatavalla kertoimella (Kuva 2) . Kerroin voidaan kuitenkin laskea luotettavasti vain $-19,3$ °C lämpötilaan saakka, sillä tätä al-

haisemmista lämpötiloista ei ole saatavilla luotettavaa määrää mittaustietoa. Kerroin saadaan yhtälöllä 8.2.

$$-0,0013x^2 - 0,0475x + 0,1934 = B \quad [8.2]$$

jossa x on ulkoilman lämpötila ja B on Termotakt laitteen pulssisuhde

Lämpötila x voidaan arvioida päiväkohtaisesta keskilämpötilasta tai kuukauden keskilämpötilasta. Tulos on kuitenkin suuntaa-antava ja pätee ainoastaan arkipäiville. Viikonloppuja varten tapahtuva arviointi vaatisi vähintään toisen talven seurantajakson, että tuloksista voitaisiin arvioida luotettavasti kytkettyjen autojen lukumäärä.

Autokohtaisena liityntätehona käytetään mittaustuloksista laskettua 670 Watin tehoa. Alueen energiankulutusta voidaan arvioida kaavalla 8.3. Kaavalla saatu tulos on viitteellinen ja sen antama arvio energian kulutuksesta perustuu hyvin vahvasti seurantajakson tuloksiin.

$$0,67 \text{ kW} * A * B * 12h \quad [8.3]$$

Kuukauden keskilämpötiloina on käytetty Savonia-ammattikorkeakoulun sääaseman (weather.savonia.fi) mittaustietoja. Kuukausittainen energiasäästö olisi näin ollen taulukon 6 mukainen, kun käytetään taulukon 5 mukaisia keskilämpötiloja.

Taulukko 5. Keskilämpötilat kuukausittain
(weather.savonia.fi).

	2008	2009	2010	2011
Tammi	-3,3	-7,0	-15,5	-8,4
Helmi	-3,1	-7,9	-11,7	-14,5
Maalis	-3,8	-3,1	-4,3	-2,7
Huhti	3,6	2,5	3,8	5,3
Touko	8,7	10,9	11,4	
Kesä	13,6	13,6	13,5	
Heinä	17,2	16,8	22,3	
Elo	13,4	17,0	17,0	
Syys	8,6	12,1	10,6	
Loka	6,4	2,0	3,6	
Marras	0,8	0,9	-3,9	
Joulu	-1,5	-7,9	-13,5	

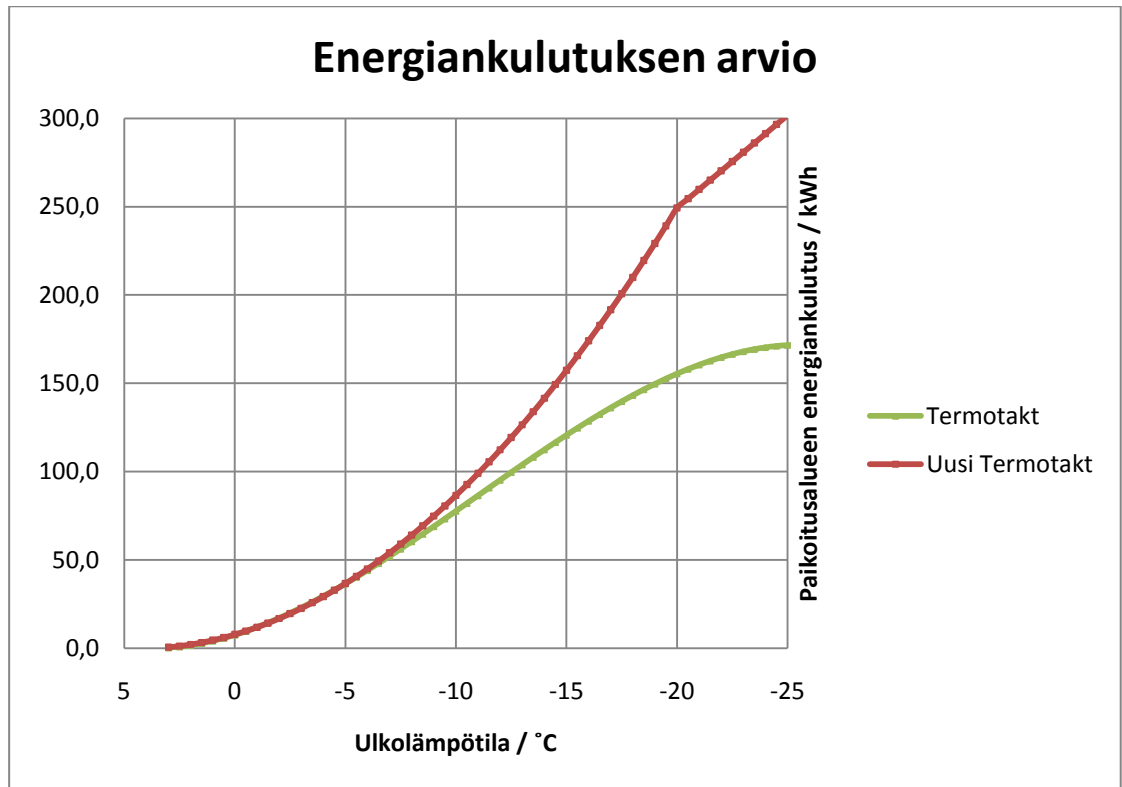
8.2 Paikoitusalueen energiansäästö-laskelmat

Taulukon 6 tuloksista voidaan nähdä, että muutostyöllä saavutettavat säästöt olisivat kuluneiden neljän kevään ja kolmen syksyn jälkeen noin 8 300 kWh. Jos energianhinnaksi oletetaan 10 snt/kWh siirtokustannuksineen, olisivat ajastinkellolliset paikat tuottaneet säästöä tänä aikana rahallisesti noin 830 €.

Lämmitystolpassa on paikka kahdelle ajastinkellolle. Yhden lämmitystolpan muutostyön kustannuksiksi on arvioitu 180 € aikaisempien muutostöiden perusteella. Yhtä autopaikkaa kohden tämä tarkoittaisi 90 € kustannuksia, jotka tulisi saada takaisin säästettynä energiana, että muutos kannattaisi.

Alueella olevien 114 Termotakt paikan muutostöiden hinnaksi voidaan näin ollen arvioida 10 260 €. Jos tulevien talvien lämpötilojen oletetaan seuraavan kuluneiden neljän talven keskiarvoa, olisi takaisinmaksuaika nykyisellä sähköhinnalla ilman korkoja noin 43 vuotta.

Saavutettu energiansäästö olisi suurempi ja vastaavasti takaisinmaksuaika lyhyempi, jos Termotakt laitteen säätökäyrä vastaisi uuden laitteen säätökäyrää. Säätökäyrän poikkeama on noin 17 %, kun ulkoilman lämpötila on -15 °C. Helmikuun 2011 ja joulukuun 2010 lämpötiloissa tämä tarkoittaa noin 12...15 % alhaisempaa energiankulutusta. Uutta vastaavan laitteen ja nykyisen laitteen vertailutulokset on esitetty Kuvasa 23.



KUVA 23. Paikoitusalueen vuorokausikulutuksen arviointi lämpötilan funktiona, kun vertailukohteena on nykyinen ja uutta vastaava Termotakt laite. Alkuperäisessä toimintakäyrässä sähkönsyöttö kytkeytyy täysin päälle -20 °C lämpötilassa.

Taulukko 6. Ajastinkellolla saavutettavat energiasäästöt vuosittain / kWh / kk.

	2008	2009	2010	2011	
Tammi	160	486	1404	633	
Helmi	146	580	1000	1304	
Maalis	197	146	237	119	
Huhti	---	-31	---	---	
Touko	---	---	---	---	
Kesä	---	---	---	---	
Heinä	---	---	---	---	
Elo	---	---	---	---	
Syys	---	---	---	---	
Loka	---	-35	---	---	
Marras	-28	-30	205	---	
Joulu	50	580	1198	---	
Yhteensä	525	1696	4044	2056	kWh/vuosi

Tuloksia arvioitaessa on kuitenkin otettava huomioon, että esilämmittimien käyttäjien lukumäärä voi muuttua, jos ohjausjärjestelmä vaihdetaan. Energiankulutus voi myös olla huomattavasti alhaisempi, jos ajastinkellon käyttäjät ottavat ajastuksessa huomioon Motivan suositusten mukaiset lämmitysajat.

Energiansäästö-laskelmissa on käytetty taulukon seitsemän mukaisia tietoja.

Taulukko 7. Energiansäästö-laskelman perustiedot.

Lohkolämmittimen teho	0,67 kW
Arkipäiviä / kk	17 Pv
Lämmitystunteja / vrk	12 h
Ajastimen lämmitysaika	2,5 h / Pv

Koska paikoitusalueen käyttäjät koostuvat pääsääntöisesti opiskelijoista, on tulosten laskennassa pyritty ottamaan huomioon, että koulu ei järjestä virallista opetusta kaikkina kuukauden arkipäivinä. Myös lomat on huomioitu arkipäivien laskennassa.

8.3 EHS –termostaatti ja sillä saavutettavat energiansäästöt

Mittausten mukaan EHS-termostaatti pyrkii pitämään moottorin lämpötilan noin +10...+12 °C lämpötilassa. Jos moottoria lämmitetään Motivan lämmitysaikasuosituksen mukaisesti, ei EHS-termostaatin vaatimaa toimintalämpötilaa välttämättä saavuteta. Jos ajoneuvoa on tarkoitus pitää pitkiä aikoja ylläpitolämmityksessä, kuten päivytysajoneuvot, voidaan laitteella saavuttaa ulkolämpötilasta riippuen merkittäviä säästöjä.

Taulukossa kahdeksan on arvioitu mittauksissa käytetyllä autolla ja EHS-termostaatilla saavutettavat energiansäästöt prosentteina. Saavutettavat energiasäästöt riippuvat moottorissa käytetystä lämmittimestä ja moottoria sekä sitä ympäröivän konetilan lämpöeristyksestä. Saadut tulokset eivät näin ollen ole välttämättä suoraan vertailukelpoisia muille autoille.

Taulukossa on myös esitetty jatkuva teho, joka tarvitaan, että moottorin lämpötila pysyy noin +10 °C lämpöisenä.

Isolla vesitilalla varustetuilla moottoreilla saavutettavat säästöt ovat vähäisempiä suuremman tehontarpeen ja pidemmän lämpenemisajan vuoksi. Energiansäästö pohjautuu vertailutulokseen moottoriin asennetun lohkolämmittimen jatkuvasta käytöstä ilman lisälaitteita ja jatkuvasta käytöstä, kun lohkolämmitintä syöttävän johdon väliin on asennettu EHS-termostaatti.

Taulukko 8. Laskennalliset säästöt EHS-termostaatilla ja testiautolla jatkuvassa lämmityksessä.

Ulkolämpötila / °C	Teho keskimäärin / W	Energiansäästö / %
5	52	90
0	103	81
-5	155	71
-10	206	62
-20	309	43
-25	361	33

EHS-termostaatilla varustetulla henkilöautolla kesti jäähtymiskokeessa reilun kahden tunnin ajan, että moottorin lämpötila saavutti laitteen toimintalämpötilan. Kuten taulukosta kahdeksan voidaan nähdä, olisi EHS-termostaatilla saavutettu tuolloin jo 81 % energiansäästö suoraan sähkölämmitykseen verrattuna.

Moottorin jäähtymisjakson aikana moottorin lohkolämmittimelle ei ohjata virtaa. Jos lohkolämmittimen tehona käytetään 540 Wattia, olisi tämä säästö ollut jäähtymiskokeen aikana +0 °C lämpötilassa 0,2 kWh EHS-termostaatin ylläpitolämmitykseen verrattuna.

Jos säästöä verrataan järjestelmään, jossa ei ole käytössä EHS-termostaattia, olisi säästö ollut noin 1,1 kWh. On kuitenkin huomattava, että moottori ja moottoritila jäähtyvät varsin nopeasti kylmissä olosuhteissa. Näin ollen lämmityksen uudelleenkytkymiseen kuuluva aika lyhenee ulkoilman lämpötilan laskiessa.

EHS-termostaatilla saavutettavat säästöt riippuvat hyvin pitkälti käyttäjän käyttötottumuksista ja ajoneuvon ominaisuuksista. Pienen henkilöauton moottorin lämpenee nopeasti verrattuna ison maastoauton moottoriin, jos esilämmittimen teho on yhtenäinen. Vastaavasti pieni moottori jäähtyy myös hyvin nopeasti, koska sillä ei ole yhtä suurta lämpökapasiteettia. Pienen auton moottorilla EHS-termostaatti saavuttaa toi-

mintapisteensä lämmitysaikasuositusten mukaisessa ajassa, kun taas isolla moottorilla toimintapistettä ei normaalilämmityksessä ennätetä saavuttaa.

9 YHTEENVETO

Tutkimuksesta käy ilmi, että Tekman Tuki ry:n paikoitusalueella on mahdollista säästää energiaa. Saavutettu säästö riippuu erittäin voimakkaasti ulkolämpötilasta, jota ei ole mahdollista ennustaa tulevien talvien osalta. Kuluneiden neljän vuoden ajan talven keskilämpötilat ovat olleet laskussa ja tämä on näkynyt omalta osaltaan kasvaneina lämmityskustannuksina. Kulunut talvi oli neljän vuoden tilastoista kylmin ja helmikuussa 2011 kuukauden keskilämpötila oli peräti $-14,5\text{ °C}$ (weather.savonia.fi).

Tekman Tuki ry:n paikoitusalueen osalta suoritettu vertailu nykyisen Termotakt järjestelmän ja ajastinkellojen välillä osoittaa, että kuluneiden kolmen ja puolen vuoden aikana olisi ollut mahdollista säästää arviolta noin 8 300 kWh. Saatu tulos on sinällään viitteellinen koska alueen käyttäjäryhmä koostuu pääosin opiskelijoista ja las kennallinen esimerkki ei ota huomioon ajastinkellojen käyttäjiä, jotka laskevat mahdollisen lämmitysajan ulkoilman lämpötilan mukaan. Käyttäjät, jotka ottavat ulkoilman lämpötilan huomioon lämmitysaikaa suunnitellessa, laskettiin Motivan lämmitysaikasuositusten mukaan.

Myös Termotakt-järjestelmän energiankulutuksessa käytetty keskimääräinen lämmitysaika on arvioitu neljän päivän ajalta koostetuista mittaustuloksista. Näin ollen on mahdollista, että koska näinä päivinä oli suuria lämpötilavaihteluita, ovat alueen käyttäjät pitäneet autoja lämmityksessä ”varmuuden vuoksi”. Talven aikana tehtyjen havaintojen mukaan autoja kuitenkin lämmitetään huomattavan pitkiä aikoja. Näiltä osin mittaustuloksista arvioitu aika ja havainnot tukevat toisiaan.

Seurantajakson aikana havaittiin myös, että tietyssä osassa paikoitusaluetta on runsaammin lämmityksen käyttäjiä kuin muissa osissa. Näin ollen ei ole mahdollista sulkea pois sitä vaihtoehtoa, esilämmittimen käyttö kannustaisi myös muita käyttämään esilämmitystä. Sama koskee myös sisätilalämmittimien käyttöä, vaikka niiden käyttö alueella onkin kielletty. Alueen sulakkeita ei myöskään ole suunniteltu kestämään lohkolämmittintä suurempia kuormia.

Alueella käytetyt sisätilalämmittimet vääristävät osaltaan mittaustuloksista laskettua keskimääräistä liityntätehoa. Sisälämmittintä käyttäviä autoja ei ollut mahdollista sulkea pois teho- ja energiamittauksista.

Ajastinkelloihin vaihtamisella ei saavuteta alueella niin suurta energiansäästöä, että se olisi taloudellisesti kannattavaa. Jos kyseessä olisi täysin uuden paikoitusalueen

rakentaminen, olisi ajastinkellollisten lämmitystolppien käyttö perusteltavaa. Nykyisellä sähköhinnalla ja vaihtokustannuksilla takaisinmaksuaika on useita kymmeniä vuosia.

Paikoitusalueella havaittiin myös mittauksissa kuormitusta, joka ei kuulunut termotakt ohjauksen piiriin. Mittauslaitteella oli mahdollista kattaa yli puolet paikoitusalueen tolppapaikoista ja arkipäivien energiasta tämän jatkuvan kuormituksen osuus oli noin 61 %. Suhteutettuna kaikkiin termotakt ohjattuihin paikkoihin, muodostaa tämä paikoitusalueen energiankulutuksesta noin 39 %. Koska sähkönsyöttöä ohjataan kontakto-reilla, on mahdollista, että keskuksessa on vaurioitunut kontaktori, joka ei kytkeydy pois päältä.

LÄHTEET

AMK-Kustannus Oy Tammertekniikka. Tekniikan kaavasto. Helsinki: WSOY, 2005.

JP & SKK. Aaltoyliopiston teknillinen korkeakoulu. [Viitattu 1.6.2011] Saatavilla osoitteesta <https://matta.hut.fi/matta2/delta/sovell/jaah.html>

Motiva Oy. [Viitattu 11.3.2011]. Saatavilla osoitteesta http://www.motiva.fi/motiva_oy/

Savonia-ammattikorkeakoulu. Informaatiotekniikan kehitysyksikkö. Kuopion sää [Viitattu 20.4.2011] Saatavilla osoitteesta <http://weather.savonia.fi>

Suvanto, Kari. Tekniikan Fysiikka 1. Helsinki: Edita Prima Oy, 2005.

Solentia Oy, EHS-termostaatin asennusohje

Lehikoinen, Esa. Turun yliopisto [Viitattu 20.8.2011] Saatavilla osoitteesta http://users.utu.fi/esalehi/ETM/ETM2003_lineaarinen_regressio.htm

www.savonia.fi



