

# KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

## Vaihtoehtoiset polttoaineet - Biokaasun käyttö auton polttoaineena ja sen testaus bensiinimoottorissa

Harri Viholainen

Kone- ja tuotantotekniikan  
koulutusohjelman opinnäytetyö  
Tuotantopainotteinen suuntautumisvaihtoehto  
Insinööri(AMK)

KEMI 2010

## TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala	
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Harri Viholainen
Opinnäytetyön nimi	Vaihtoehtoiset polttoaineet - Biokaasun käyttö auton polttoaineena ja sen testaus bensiinimoottorissa
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	30.10.2010
sivumäärä	36 + 6 liitettä
Opinnäytetyön ohjaaja	Yliopettaja Lauri Kantola
Yritys	Ammattiopisto Lappia

Lähtökohtana työlle on vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttö ajoneuvoissa. Koska fossiiliset polttoaineet aiheuttavat enenevässä määrin ilmastonmuutosta, tulee ottaa käyttöön ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja. Pakokaasujen haitalliset yhdisteet ajoneuvoissa ovat vähentyneet viime vuosikymmenien aikana, mutta samalla ajoneuvojen määrä on lisääntynyt ja kasvihuoneilmiötä aiheuttavan hiilidioksidin määrä on kasvanut. Tämä johtaa siihen, että on pystyttävä ottamaan käyttöön myös muita jo kehitettyjä ratkaisuja. Yksi suhteellisen yksinkertainen vaihtoehto on muuttaa tavallinen bensiinimoottori kaasulla toimivaksi, joko maa- tai biokaasua käyttäväksi.

Ajoneuvon rakenteeseen tässä ratkaisussa ei tarvitse tehdä suuria muutoksia, pelkästään kaasuun tarkoitettujen komponenttien asentaminen jo olemassa olevaan rakenteeseen. Tällainen rakenne voidaan toteuttaa lähes kaikkiin fossiilisilla polttoaineilla toimiviin ajoneuvoihin. Tässä työssä keskityttiin ympäristöystävällisyyden ja suorituskyvyn vertailuun käyttäen biokaasua ja bensiiniä ottomoottorissa. Tämä toteutettiin pakokaasujen ja tehojen mittaamisella jo valmiiksi muutetusta ajoneuvosta.

Mittaamisen ja tulosten perusteella voidaan päätellä kaasun olevan yksi hyvin vartenotettava polttoaine, kun halutaan korostaa ympäristöystävällisyyttä ja ajoneuvon suorituskykyä. Lisäksi muutokset voidaan tehdä vanhempiinkin ajoneuvoihin edullisesti, jolloin tämä ratkaisu on kaikkien tavoitettavissa. Maa- ja biokaasun saatavuus kaikkialla Suomessa sekä verotuksen muutokset voivat olla este sen yleistymiselle. Pohjoisin tankkauspiste, mistä saa biokaasua löytyy tällä hetkellä Keski-Suomesta. Pääkaupunkiseudulta löytyy useampia maakaasutankkausasemia.

Asiasanat: biokaasu, pakokaasut, suorituskyky

## ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Name	Harri Viholainen
Title	Alternative Fuels - The Use of Biogas as Fuel in the Car and Testing of Gasoline Engine
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	30 October 2010
Pages	36+6 appendices
Instructor	Lauri Kantola Senior Lecturer
Company	Vocational College Lappia

This thesis is based on the use of alternative fuels for vehicles. As fossil fuels cause ever more and more climatic changes, more environmentally friendly alternatives must be introduced. Harmful compounds in exhaust gases of the vehicles have decreased in recent decades, while the number of the vehicles has increased and the greenhouse effect, causing carbon dioxide, has increased. That is why we must be able to introduce other solutions that have already been developed. One relatively simple option is to change an ordinary gasoline engine into an engine fuelled either by natural gas or by biogas.

This solution does not require great changes for the structure of the vehicles only installing the components for gas in the existing structure requires changes. Such a structure can be implemented in almost all fossil-fueled vehicles. This thesis focuses on environmental friendliness and detection of performance of the vehicle using biogas. Detection of exhaust gas and the intensities was found by measurements in the rebuilt vehicle.

On the basis of the measurement and the results the inference can be that gas is one of the useful fuels when we want to emphasize geologically beneficial factors and the performance of the vehicle. In addition, changes can be made cheaply also for older vehicles. Then this solution is available for all the vehicle owners. However, there are barriers availability of natural gas and biogas is not possible all over the country and there are changes in taxation. The northernmost refuelling point can be found in central Finland, where you can get biogas. In the metropolitan area you can find several natural gas refuelling stations.

Keywords: biogas. the exhaust gases. performance.

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ .....	I
ABSTRACT .....	II
SISÄLLYSLUETTELO.....	III
1. JOHDANTO .....	1
2. KAASUJEN KÄYTTÖ AJONEUVOISSA.....	3
3. BIOKAASUN VALMISTUS .....	4
4. BIOKAASUN YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISYYS .....	8
5. BIOKAASUN KOOSTUMUS JA OMINAISUUDET .....	9
6. BIOKAASUN SOVELTUVUUS BENSIINIMOOTTORIIN.....	10
7. PAKOKAASUPÄÄSTÖT .....	12
8. PAKOKAASUJEN MITTAUS .....	15
8.1. Pakokaasulainsäädäntö .....	15
8.2. Pakokaasupäästöjen raja-arvot .....	16
8.3. Mittalaitteet korjaamoilla .....	17
8.4. Mittaaminen käytännössä .....	18
8.5. Mittauslaite Bosch BEA 270.....	19
8.6. Mittauksen esivalmistelut ja mittaus .....	20
9. YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISYYDEN TOTEAMINEN.....	22
10. MOOTTORIN SUORITUSKYKY.....	26
10.1. Moottorin suorituskykynormistot .....	26
10.2. Teho (P) .....	27
10.3. Vääntömomentti (M) .....	28
10.4. Moottorin tehon ja vääntömomentin kuvaajat .....	28
10.5. Tehon ja vääntömomentin mittaus.....	29
11. SUORITUSKYVYN VERTAILU BIOKAASULLA JA BENSIINILLÄ .....	31
11.1. Suorituskyvyn tulokset .....	32
11.2. Tulosten tulkinta .....	32
12. YHTEENVETO .....	34
13. LÄHDELUETTELO .....	36
14. LIITELUETTELO .....	37

## 1. JOHDANTO

Ajoneuvojen ympäristöystävällisyys on tullut merkittäväksi kriteeriksi polttoaineen valinnassa. Fossiilisten polttoaineiden hiilidioksidipäästöt ovat nousseet niin korkeiksi, että näillä uskotaan olevan vaikutusta ilmaston lämpenemiseen, joka aiheutuu niin sanotusta kasvihuoneilmästä. Aikaisemmilla lailla, asetuksilla ja hyvillä teknisillä ratkaisuilla (myös polttoaineen kehittämällä) on pystytty poistamaan fossiilisten polttoaineiden haitalliset tekijät lähes olemattomiin. Hiilidioksidi on kuitenkin suurin kasvihuoneilmiötä aiheuttava aineosa, jota ei voida poistaa kokonaan. Hiilidioksidia syntyy aina kun palaminen on kysymyksessä. Sitä voidaan vähentää vain polttoaineen kulutusta vähentämällä, mihin ajoneuvojen valmistajat ovat painokkaasti ryhtyneet.

Useita vaihtoehtoisia polttoaineita on kehitteillä, mutta niiden toteutus ei ole sillä asteella, että ne syrjäyttäisivät fossiilisten polttoaineiden käytön vielä kokonaan. Vaikeutena ovat esimerkiksi tekniset ratkaisut, kuten sähköajoneuvoissa akkujen kehitys ja vetyautoissa vedyn kallis valmistus jne. Näiden lisäksi jakeluverkostot aiheuttavat omat rajoituksensa vaihtoehtoisten polttoaineiden yleistymiselle.

Biokaasu on yksi vaihtoehto ajoneuvon polttoaineena ja sitä saadaan suhteellisen helposti valmistettua esimerkiksi maatilojen jätteistä ja muista orgaanisista aineista mädättämällä. Biokaasu soveltuu hyvin normaalin bensiini- tai dieselmoottorin polttoaineeksi. Teknilliset ratkaisut on helppo toteuttaa valmiilla asennussarjoilla. Suomessa kaasuautoja on suhteellisen vähän ja sen vuoksi asennussarjojen valmistajat löytyvät ulkomailta, kuten Italiasta, jossa kaasuajoneuvot ovat yleisiä. Samaa ratkaisua käytetään myös maakaasun kanssa.

Ammattiopisto Lappia rakentaa oman biokaasulaitoksen Louen toimipisteeseen ja tähän yhteyteen tulee myös ajoneuvojen tankkausasema. Tämän johdosta tuli etsiä sopiva ajoneuvo, johon soveltuu biokaasulle. Valinnaksi tuli käytetty Volkswagen Caddy Life, vuosimallia 2006. Auto oli varustettu 1,6 litran bensiinimoottorilla, jonka suurin nettoteho oli 75 KW.

Auton varustaminen biokaasulle soveltuvaksi toteutettiin Helsingissä Oragas-yrityksen kanssa. Tartarini-asennussarjan asentamista ajoneuvoon on tarkasteltu toisessa Kemi-Tornion ammattikorkeakoululle tehdyssä opinnäytetyössä (Niska Tarmo, Vaihtoehtoiset polttoaineet - Biokaasun käyttö auton polttoaineena ja tarvittavat tekniset muutostyöt, 2010).

Tässä työssä käsitellään biokaasun soveltuvuutta bensiinimoottoreihin lähinnä suorituskyvyn kannalta, sekä ympäristöystävällisyyttä. Nämä molemmat voidaan todeta mittaamalla pakokaasut ja tehot sekä vertaamalla niitä bensiinillä saatuihin arvoihin. Mittauslaitteet näihin molempiin testeihin löytyivät Ammattiopisto Lappian Keminmaan yksiköstä. Pakokaasujen mittaus tapahtui Boschin kuusikomponenttianalysaattorilla ja tehojen mittaus Dyno Station -alustadynamometrillä. Vertaaminen bensiiniin oli helppoa, koska kohdeauto oli varustettu vaihtokatkaisimella, jolla voitiin valita käyttöön joko bensiini tai kaasu.

## 2. KAASUJEN KÄYTTÖ AJONEUVOISSA

Koska ympäristöystävällisyydestä on tullut merkittävä tekijä ajoneuvojen polttoaineiden valinnassa, on pyritty etsimään vaihtoehtoisia aineita. Vaihtoehtoisia polttoaineita ovat kaasut. Niistä biokaasu on vähiten ympäristöä kuormittavaa.

Autojen polttoaineena voidaan käyttää maakaasua, nestekaasua ja biokaasua. Kaasujen käyttö vähentää pakokaasupäästöjä, koska kaasu palaa puhtaammin kuin öljytuotteet. Nykyiset bensiiniä käyttävät autot voidaan muuttaa maakaasulla ja biokaasulla toimiviksi.

Maakaasua syntyy, kun orgaaniset ainekset hajoavat anaerobisesti. Sitä saadaan öljykentiltä ja soilta. Kaasu on pääsääntöisesti metaania. Maakaasulla on matalat hiilidioksidi-, typenoksidi ja hiukkaspäästöt. /12/

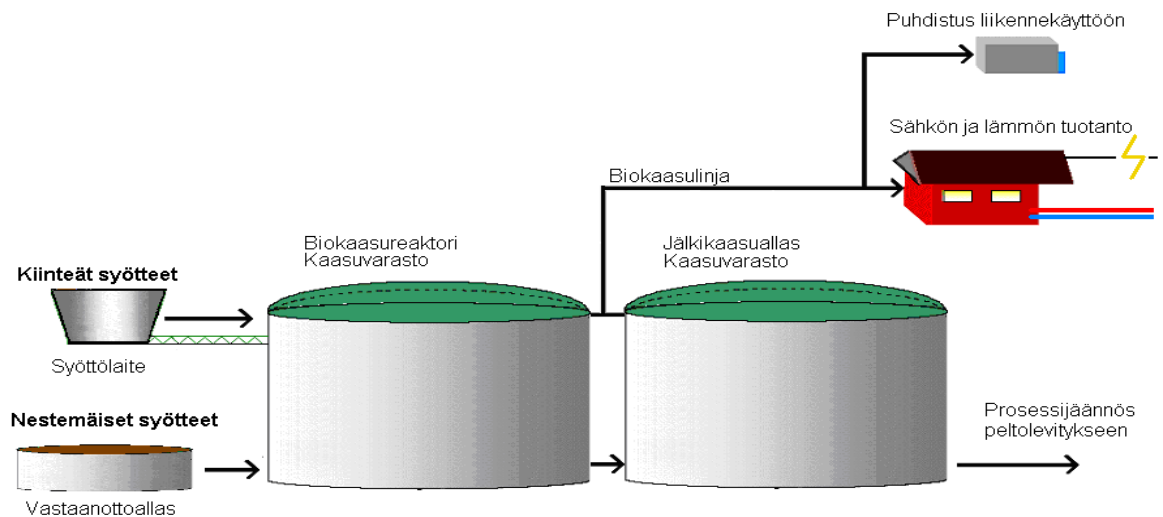
Nestekaasu on öljynjalostuksessa syntyvä aineosa. Nestekaasu on propaania ja helppo varastoida, koska se ei tarvitse yhtä korkeaa painetta kuin maakaasu.

Biokaasu on metaania ja hiilidioksidia. Biokaasua tuotetaan vesilaitosten ja kaatopaikkojen kaasuista, maatalouden biojätteistä ja vihreästä biomassasta. Lämpöeristetyssä reaktorissa metaanibakteerit aiheuttavat mätänemistä, jolloin syntyy kaasua. /12/

Uusimpana kehityshankkeena Suomessa on levän kasvatusta, jossa mikrolevät voivat hyödyntää auringon energiaa. Teoreettisesti auringon energiasta voidaan hyödyntää jopa 9 % kasvatukseen, kun muilla maakasveilla se on alle 1 %. Tästä voi saada 10 - 50 tonnia öljyä hehtaarilta, jota Neste nimittää NExBTL-biodieseliksi. Levästä voidaan tehdä myös kaasua, eli metaania. Tätä tutkitaan Kouvolan seudulla peltoviljelynä ja tarkoituksena on selvittää, mikä levälaji soveltuu Suomen oloihin parhaiten. /10/

### 3. BIOKAASUN VALMISTUS

Maatilakohtaisen biokaasulaitoksen toimintaperiaate ja aine- ja energiavirrat on esitetty kuvassa 1. Eläinsuojan lietekanavista purkautuva lietelanta varastoidaan pieneen puskurivarastoon, johon otetaan vastaan myös muut nestemäiset lisäsyöttömateriaalit. Kiinteät materiaalit murskataan ja lisätään suoraan reaktoriin erillisellä syöttimellä. Tällöin vältetään väkevien orgaanisten aineiden käymisen aiheuttamilta hajuhaitoilta sekä kuiva-ainepitoisuudeltaan korkeiden materiaalien pumppausongelmilta. /8/



**Kuva 1. Biokaasulaitoksen toimintaperiaate /8/**

Biokaasureaktori on täyssekoitteinen ja lietetilan lämpötila pidetään lämmitysputkistolla joko 35–40 °C:ssa (mesofiilinen prosessi) tai 55 °C:ssa (termofiilinen). Biokaasulaitoksessa mesofiilinen prosessi kuluttaa vähemmän lämpöenergiaa, kun taas termofiilisestä käsittelystä käsittelyaika on yleensä kolmanneksen lyhyempi ja käsiteltävän materiaalin hygienisoituminen on täydellisempää. Materiaalin viipymä reaktorissa on 14 - 100 päivää riippuen käsiteltävistä materiaaleista ja prosessin suunnittelusta. /8/

Biokaasu syntyy pääosin biokaasureaktorissa, josta se johdetaan kaasuväylään ja käyttöön. Kaasun käyttölaitteille vahinkoa aiheuttavien rikkiyhdisteiden pitoisuutta vähennetään noin 80 % hapettamalla rikkiyhdisteet biologisesti alkuainerikiksi, joka tapahtuu syöttämällä pienellä virtaamalla ilmaa reaktorin yläosaan. /8/

Biokaasu johdetaan kaasuvarastosta kaasun käyttöä varten tekniseen tilaan, jossa sijaitsevat käyttölaitteet ja kaasun mittaus. Tuotettu lämpö siirretään lämmönvaihtajan kautta hyödynnettäväksi. Reaktorin lämmitys toteutetaan erillisen piiriin kautta reaktorin sisäisten lämmönvaihtimien avulla. Generaattorien tuottama sähkö myydään verkkoon ja käytetään biokaasulaitoksen ja tilan oman tarpeen kattamiseen. Liikennepolttoainevaihtoehdossa biokaasu puhdistetaan ja paineistetaan myytäväksi henkilö-, paketti tai kuorma-autoihin. Tankkausasema on puhdistimen yhteydessä. /8/

Biokaasureaktorissa käsitelty materiaali poistuu uuden materiaalin syöttämisen yhteydessä katettuun jälkikaasualtaaseen. Jälkikaasuallas ja reaktori katetaan kaksoiskalvolla, jossa sisempi kalvo toimii biokaasuvarastona ja ulompi suojaa kaasukalvoa säältä ja UV-säteilyltä. Kalvorakenne on paineistettu kalvojen välistä pienellä ylipaineella, joka antaa prosessipaineen kaasun siirtämiseen. Biokaasuvarasto tasaa eroja kulutuksen ja käytön välillä ja siten laitosta ei tarvitse ajaa alas esim. aggregaattihuoltokatkojen takia. /8/

Jälkikaasualtasta käytettäessä käsiteltävän materiaalin biokaasuntuottopotentiaali tulee tarkemmin hyödynnettyä verrattuna tilanteeseen, jossa jälkikaasualtasta ei ole. Jälkikaasualtaan osuus on yleensä noin 15 - 20 % koko laitoksen biokaasuntuotannosta. Lisäksi jälkikaasuallas vähentää lämpimän ja biologisesti aktiivisen käsitellyn lietteen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä, hajuhaittoja ja ammoniakkin haihtumisen aiheuttamaa ravinnehävikkiä. Lietteiden lämpötila ja biologinen aktiivisuus laskee jälkikaasutuksen aikana, jolloin jälkivarastoinnin ja levityksen aikana vältytään mainituilta ongelmilta. /8/

Käytettäessä muuta ulkopuolista lisämateriaalia kuin kasviperäistä peltobiomassaa on huomioitava hygienisoimisen aiheuttamat vaatimukset prosessille, jotka saattavat aiheuttaa muutoksia edellä esitettyyn kaavioon. Suomessa Elintarviketurvallisuusvirasto Evira antaa hyväksynnän biokaasulaitoksille, jotka käsittelevät materiaaleja, jotka vaativat hygienisoivaa käsittelyä. Eviran hyväksynnän saamiseksi käsitellyn lietteen on täytettävä mikrobiologiset vaatimukset, jotka ovat seuraavat: ei salmonellaa, enterobakteerien määrä alle 1000 pmy / g neljässä näytteessä ja alle 5000 pmy / g yhdessä näytteessä. Lisäksi

eläinperäisiä sivutuotteita käsiteltäessä sivutuoteasetus (1774/2002/EY) edellyttää hygienisointisäiliön rakentamista, jossa viipymä on vähintään 1 tunti 70 °C:ssa. /8/

Edellä esitetyssä biokaasulaitoskonseptissa kaikki rakenteet ovat joko ilmatiiviitä (reaktori ja jälkikaasuuntumisallas) tai katettuja (syöttö- ja varastoaltaat) ja siten biokaasulaitoksen hajuhaitat (mm. ammoniakista, rikkivedyistä ja haihtuvista orgaanisista yhdisteistä johtuvat) voidaan minimoida. /8/

Lietteen biokaasukäsittelyn yhteydessä ei muodostu vesistö päästöjä, koska lietteet ovat suljetuissa altaissa. Huomattava osa lietteen kiintoaineen sisältämästä orgaanisesta tpestä hydrolysoituu ja liukoistuu ammonium-typeksi, joka on kasvinviljelyssä kasvien hyödynnettävissä joko suoraan ammonium-ioneina tai nitrifikaation kautta nitraattina. Siten loppumateriaalin lannoitekäytössä typen huuhtoutuminen vesistöihin vähenee ja levityksen yhteydessä orgaanisten yhdisteiden aiheuttamat hajuhaitat vähenevät. /8/

Syötemateriaalien alhainen kuiva-ainepitoisuus laskee tonnikohtaista metaanintuottoa ja lisää laitoksen tarvitsemaa lämpöenergian määrää, mikä laskee laitoksen hyötysuhdetta. Tämä tulee huomioida mm. navettojen veden käytössä ja säilönurmen korjuussa. Kuivemmat raaka-aineet edellyttävät myös vähemmän kuljetuksia energian tuottoon nähden. /8/

Biokaasureaktoria ohjataan mittaamalla tuotetun ja kulutetun biokaasun virtaamaa ja metaanipitoisuutta sekä reaktorin lämpötilaa. Lisäksi mitataan syöttö- ja jälkikaasualtaiden lietepinnan korkeuksia ja lämpötilaa sekä kaasuvastossa olevan biokaasun määrää. /8/

Pumppausmäärät ja -ajankohdat sekä reaktorin lämmönsäätö ja prosessiparametrien mittaaminen hoidetaan automatiikalla. Häiriöraportti, esim. aggregaatin kytkeytyessä pois päältä tai biokaasuvuodon sattuessa, voidaan lähettää automaattisesti suoraan matkapuhelimeen. Biokaasulaitoksen toiminta edellyttää, että joku laitoksen käytön tunteva henkilö on jatkuvasti puhelinpäivystyksessä. /8/

Suomessa vuonna 2010 on vain yksi biokaasua valmistava ja ulkopuolisille myyvä toimipiste, Kalmarin maatila Laukalla, jonka tankkauspiste näkyy kuvassa 2.



**Kuva 2. Kalmarin maatilán tankkauspiste**

## 4. BIOKAASUN YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISYYS

Biokaasussa oleva metaani on vapaasti ilmakehään päästessään 20–70 kertaa hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuonekaasu. Biokaasun talteenotolla ja hyötykäytöllä voidaan merkittävästi vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä /4/.

Biokaasun ympäristöystävällisyys on huomattavaa, koska tällä menetelmällä kasvihuonekaasuja voidaan alentaa jopa 95 %. Elinkaaripäästöjen mukaan biokaasujoneuvolla pääsee 12 g/km hiilidioksidia, kun fossiilisilla polttoaineilla toimivien ajoneuvojen hiilidioksidipäästöt ovat 100–200 g/km. Elinkaaripäästöissä otetaan huomioon myös ne päästöt, jotka biomassassa voisi aiheuttaa ilman niiden hyödyntämistä. Elinkaaripäästöissä huomioidaan koko elinkaari raaka-aineesta valmistusprosessin kautta ajoneuvon tankkiin. Mitä enemmän biojätettä tuotetaan tähän tarkoitukseen korvatakseen fossiiliset polttoaineet, sitä ympäristöystävällisempää se on. Eräissä tapauksissa liikennebiokaasun elinkaaripäästöt ovat jopa negatiiviset eli biokaasun käyttö vähentää kasvihuonekaasupäästöjä verrattuna sen hyväksikäyttämättömyyteen./5/

Epätäydellisen palamisen seurauksena syntyy jonkin verran myös keveitä orgaanisia yhdisteitä ja häkää, mutta ei lainkaan aromaattisia yhdisteitä, joita bensiinin ja dieselöljyn käyttö runsaasti tuottaa (niiden joukossa on kaikkein myrkyllisimpiä ja syöpää aiheuttavia yhdisteitä). Johtuen polttamisesta ilmassa syntyy myös typen oksideja/5/.

Biokaasun metaani, hiilidioksidi ja typpi ovat hajuttomia, joten biokaasun käytöllä voidaan hajuhaittoja välttää merkittävästi. Ainoastaan rikkivedystä voi jonkin verran tulla hajua, mutta sekään ei ole mahdollista, koska koko prosessi on suljettu tankkaukseen asti. /5/

## 5. BIOKAASUN KOOSTUMUS JA OMINAISUUDET

Biokaasu on mädättämällä orgaanisista aineksista syntynyt kaasu, jota syntyy esimerkiksi kaatopaikalta ja maatalouden jätteistä. Biokaasu koostuu pääasiassa metaanista, jonka pitoisuus vaihtelee 35–80 prosentin välillä. Hiilidioksidia biokaasussa on 20–65 % ja siinä saattaa olla lähteestä riippuen pieniä määriä rikkivetyä ja typpeä sekä kloori- ja fluoriyhdisteitä. Taulukko 1:n mukaan sen tehollinen lämpöarvo on 4-6 kWh/m<sup>3</sup>, eli 14,4–21,6 MJ/m<sup>3</sup>, joka vastaa kiloihin suhteutettuna 20–30 MJ/kg. Maakaasun tehollinen lämpöarvo on 10 kWh/ m<sup>3</sup> eli 35,6 MJ/m<sup>3</sup>, joka vastaa kiloihin suhteutettuna 50 MJ/kg. Bensiinin lämpöarvo on noin 43 MJ/kg. /12/, /1/

**Taulukko 1. Teholliset lämpöarvot suhteutettuna massaan./11/, /1/**

Polttoaine	Tehollinen lämpöarvo MJ/kg
Bensiini	43
Maakaasu	50
Biokaasu ennen hiilidioksidin poistoa	20–30

(Kaasumaisien aineiden lämpöarvo suhteutetaan yleensä tilavuuteen, tässä kuitenkin vertailuna on nestemäinen bensiini.)

Tämän mukaan biokaasu on teholliselta lämpöarvoltaan heikointa näistä vertailuarvoista. Biokaasun lämpöarvo on noin 2/3 bensiinin arvosta. Biokaasun hiilidioksidin poistolla ja puhdistamisella saadaan hiilidioksidimäärä laskemaan ja näin ollen metaanipitoisuus nousemaan lähes maakaasun tasolle, eli n. 98 %. Tällöin tehollinen lämpöarvo nousee samalle tasolle maakaasun kanssa.

## 6. BIOKAASUN SOVELTUVUUS BENSIINIMOOTTORIIN

Biokaasun edellä mainittu käyttö bensiinimoottoreissa perustuu lähinnä siihen, miten polttoaine-ilmaseos sekoittuu keskenään. Kaasumaisella polttoaineella sekoittuminen on nopeaa, joten sen käyttö polttoaineena on tehokkaampaa. Nestemäisen polttoaineen pitää muuttua ensin kaasumaiseksi sumuksi, jotta sekoittuminen olisi mahdollista. Tämä kaasumainen sumu ei välttämättä ole kaikissa tilanteissa riittävän hienojakoista ja sekoittuminen ei ole aina tasalaatuista. Kaasussa tätä ei tarvitse toteuttaa, vaan se voidaan suoraan ruiskuttaa moottorin imevään ilmaan ja näin saadaan hyvin syttyvä polttoaine-ilmaseos. /5/

Lisäksi nestemäisen polttoaineen käytössä tarvitaan oma laitteistonsa, kuten polttoainepumppu, suodatin ja kaasutin vanhemmissa ajoneuvoissa. Kaasukäytössä näitä laitteita ei tarvita, jos kysymyksessä on pelkkä kaasua käyttävä ajoneuvo, eli monofuel-ajoneuvo. /5/

Puristussuhde voidaan nostaa korkeammaksi, koska biokaasun oktaaniluku on korkeampi kuin bensiinillä. Biokaasun oktaaniluku on noin 140 ja bensiinillä 95–98. Kun puristussuhde on korkeampi, nousee myös sen hyötysuhde ja näin ollen biokaasu tulee ympäristöystävällisemmäksi pienemmän kulutuksen ansiosta. /5/

Hyötysuhteen nostamiseksi voidaan ajoneuvo varustaa myös turboahtimella, jolloin korkeammalla ahtopaineella saavutetaan sama hyötysuhde kuin puristussuhteen nostamisella. Tämä ratkaisu soveltuu paremmin sellaisiin konvertoituihin ajoneuvoihin, jotka käyttävät esimerkiksi bensiiniä ja biokaasua. Tällöin ahtopaine voidaan ohjelmoida molemmille polttoaineille sopivaksi. Pelkkä puristussuhteen nostaminen biokaasulle sopivaksi huonontaa vastaavasti bensiinikäytön ominaisuuksia, kuten nakutusilmiötä. /5/

Biokaasu soveltuu käytettäväksi bensiinimoottorin lisäksi dieselmoottoriin sekä wankel- ja stirlingmoottoriin. Biokaasua voidaan käyttää myös suihkumoottorissa, kaasuturbiineissa sekä rakettimoottoreiden ja polttokennojen voimanlähteenä. /5/

Biokaasun soveltuvuus talvisiin olosuhteisiin on parempaa kuin bensiinin, koska biokaasun jäätymispiste on  $-182\text{ °C}$ . Ongelmaksi muodostuu kuitenkin vesi, jota syntyy paineen vaihteluiden vuoksi ja näin vesi kondensoituu järjestelmään. Tämä ongelma on poistettu kohdeautossa varustamalla laitteisto jäähdytysjärjestelmän kierrolla, joka lämmittää kaasupainesäädintä ja näin estää jäätymisen./5/

## 7. PAKOKAASUPÄÄSTÖT

Polttomootoreiden täydellisessä palamisprosessissa syntyy fossiilisilla polttoaineilla lopputuotteena hiilidioksidia ja vesihöyryä. Hiilidioksidi ei ole myrkyllistä, mutta sen on todettu aiheuttavan ns. kasvihuonenimiötä. Hiilidioksidin määrä on suoraan verrannollinen kuluvan polttoaineen määrään, eli yksi litra bensiiniä tuottaa palaessaan 2,35 kg hiilidioksidia ja yksi litra dieseliä tuottaa 2,66 kg hiilidioksidia. /2, s.42/ (Jos auto kuluttaa bensiiniä 10 L/100km, sen hiilidioksidipäästöt ovat silloin 235 g/km)

Polttomootoreiden palaminen ei aina ole täydellistä olosuhteiden ja käytön mukaan, joten palamisessa syntyy tällöin myös muita lopputuotteita, jotka ovat yleisesti myrkyllisiä tai haitallisia. Tieliikenteessä lainlaatija on antanut sallitut enimmäispitoisuudet osalle pakokaasupäästöjä. Näitä ovat hiilidioksidi, hiilivedyt, typenoksidit sekä hiukkaset (partikkelit). Lisäksi pakokaasujen mukana ilmaan pääsee sääntelemättömiä päästöjä, jotka ovat hiilidioksidi, rikkidioksidi ja typpioksiduaali, lyijy, kylmäsavutus sekä haju tai muita yhdisteitä./2/

### **Hiilimonoksidi (CO) eli häkä**

Hiilimonoksidia eli häkäkaasua syntyy bensiinimoottorissa eniten kylmässä moottorissa sekä kiihdytettäessä voimakkaasti. Hiilimonoksidi on hyvin myrkyllistä, koska sen ominaisuutena on syrjäyttää happi. Tappavana se ilmenee jo silloin kun hengitysilmassa on 0,3 % häkää. Hiilimonoksidi muuttuu muutamassa tunnissa hiilidioksidiksi./2/

Tieliikenteessä häkäpitoisuus on vähentynyt huomattavasti lähinnä katalysaattoritekniikan ja reformuloidun bensiinin ansiosta. Tieliikenteen häkäpäästöt ovat olleet vuonna 1996 noin 70 % kaikesta häkäpäästöistä ja kaksituhatluvulle siirryttäessä ne ovat pudonneet noin 47 %. /2/

### **Hiilivedyt (HC)**

Pakokaasuissa olevat hiilivedyt ovat palamatonta polttoainetta. Hiilivetyä syntyy silloin kun palaminen on epätäydellistä. Hiilivetyjä syntyy samoissa olosuhteissa kuin häkää, eli voimakkaissa kiihdytyksissä ja kylmässä moottorissa. Hiilivetyjä muodostuu myös silloin kun polttoaineilmaseos on liian laiha, eli ilmaa on enemmän kuin täydelliseen palamiseen tarvittaisiin./2/

Hiilivetyjä vapautuu myös polttoainesäiliöstä ja muista kohteista, missä polttoaine on vapaassa kosketuksessa ilman kanssa. Osa hiilivedyistä on myrkyllisiä, ja hiilivetyjen orgaaniset yhdisteet (VOC) voivat aiheuttaa syöpää. Hiilivety päästöt ovat vähentyneet alle puoleen neljänkymmenen vuoden aikana. Suomi on sitoutunut vähentämään VOC päästöjä 30 % vuoteen 2000 mennessä, mikä on täyttynyt vielä selvästi. Tähän on päästy katalysaattoritekniikalla sekä uusilla reformuloituilla polttoaineilla./2/

### **Typenoksidit (NO<sub>x</sub>)**

Typenoksideja sitoutuu palamisen yhteydessä jäännöshapteen silloin kun paine ja lämpötila on korkeat. Näitä syntyy erityisesti kiihdytettäessä ja ajettaessa maantieolosuhteissa suurella nopeudella. Kylmäkäynnistyksen yhteydessä näitä ei kuitenkaan muodostu./2/

Suurin osa typenoksideista vapautuu typpimonoksidina, joka muuttuu ilmassa typpidioksidiksi ja muiksi typpiyhdisteiksi. Kaikista haitallisimpia ovat typpioksidit, jotka saattavat vioittaa hengityselimiä. /2/

Suomi sitoutunut vähentämään typen oksidipäästöjä vuoden 1987 tasolle, johon on päästy hyvin lähinnä katalysaattoritekniikan avulla. Dieselmoottorin typen oksidien määrässä ei vielä ole päästy vaatimustasolle, koska katalysaattoritekniikan ei vielä kaikin osin sovellu dieselmoottorille./2/

Vuonna 2005 on kuitenkin Lundin yliopistossa kehitetty katalysaattori, jossa typenoksidit varastoidaan tyypiloukkuun. Tähän loukkuun suihkutetaan hieman dieseliä, joka syttyy ja näin typenoksidit muuttuvat rikkaalla seoksella typpikaasuksi. Tätä menetelmää voidaan käyttää laihalla seoksella toimivissa dieselmoottorissa. Toinen Lundin yliopiston katalysaattorikeksintö on SCR-menetelmä, jossa typen oksidit neutraloidaan urealla. Tätä menetelmää käytetään lähinnä raskaissa ajoneuvoissa./2/

### **Hiukkaset (partikkelit)**

Hiukkaset ovat pienikokoisia hiilihiukkasia, joihin takertuu pakokaasuissa olevia yhdisteitä. Nämä yhdisteet saattavat aiheuttaa syöpää. Näitä aineita ovat esimerkiksi hiilivedyt ja rikkiyhdisteet. Pienimmät hiukkaset kulkeutuvat helpoimmin hengitykseen ja näin voivat aiheuttaa hengitystieongelmia./2/

Polttoaineen kehityksen myötä hiukkaset ovat vähentyneet voimakkaasti 1990-luvulla. Tieliikenteen osuus näistä päästöistä on noin 12 prosenttia./2/

### **Rikkidioksidipäästöt (SO<sub>2</sub>)**

Rikkidioksidia syntyy palamistapahtumassa rikin yhdistyessä happeen. Rikkiä polttoaineen joukossa on sen epäpuhtauden vuoksi. Tänä päivänä kuitenkin polttoaineet ovat yleisesti rikkittömiä. Rikkidioksidi aiheuttaa maaperän happamoitumista ja hengitysvaikeuksia./2/

### **Typpioksiduuli eli ilokaasu (N<sub>2</sub>O)**

Typpioksiduulia syntyy katalysaattoriautoissa silloin kun katalysaattori ei vielä ole toiminta lämpötilassa, eli 300 asteessa. Katalysaattoriauton ilokaasupäästöt ovat kymmenkertaiset perinteiseen autoon verrattuna. /2/

Ilokaasulla ei ole suurempia haittavaikutuksia ihmisille, mutta se aiheuttaa kasvihuoneilmiötä. Tämän vuoksi siihen on kiinnitetty entistä enemmän huomiota. VTT:n tutkimuksen mukaan samalla tekniikalla millä NO<sub>x</sub>-päästöjä pyritään vähentämään, tulee vaikuttamaan myös typpioksiduulin määrään./2/

## 8. PAKOKAASUJEN MITTAUS

### 8.1. Pakokaasulainsäädäntö

Yhdysvalloissa, Euroopan Unionissa ja Japanissa on erilaiset pakokaasusäädökset. Nämä säädökset ovat seuraavat:

- CARB-lainsäädäntö (California Air Resources Board)
- EPA-lainsäädäntö (Environmental Protection Agency)
- EU-lainsäädäntö (Euroopan Unioni)
- Japanin lainsäädäntö./6/

Näistä lainsäädöksistä ensimmäistä ja tekniikaltaan edelläkävijä maata koskee Kalifornian osavaltiota Yhdysvalloissa (CARB). Toinen Yhdysvaltojen lainsäädäntö EPA koskee kaikkia muita osavaltiota paitsi edellä mainittua Kaliforniaa. Euroopan Unionilla ja Japanilla on myös omat säädöksensä. Muut maat ovat ottaneet myös näitä säädöksiä käyttöönsä tai soveltaneet niitä. Tässä työssä sovelletaan vain EU-lainsäädäntöä, jolle EU:n komissio vahvistaa suuntaviivat. Direktiivissä 70/220/EEC löytyy raja-arvot eri vuosille, koskien henkilö- ja kevyitä kuorma-autoja:

- EU 1 (1.7.1992 lähtien)
- EU 2 (1.1.1996 lähtien)
- EU 3 (1.1.2000 lähtien)
- EU 4 (1.1.2005 lähtien)./6/

Näissä EU-normeissa puututaan seuraaviin epäpuhtauksien raja-arvoihin:

- hiilimonoksidi (CO)
- hiilivedyt (HC)
- typenoksidit (NO<sub>x</sub>) ja
- hiukkaset dieselajoneuvoille./6/

Hiilidioksidille (CO<sub>2</sub>) ei varsinaisesti anneta raja-arvoa, mutta uusissa autoissa sen arvo on ilmoitettava grammoina kilometriä kohti (g/km). Esimerkiksi vuoteen 2008 mennessä on saavutettava 140 g/km päästöarvo, johon on myös päästy. Tämä on vuoden 2011 alusta ajoneuvoveron lähtökohta niissä ajoneuvoissa, joissa hiilidioksidipäästöt on ilmoitettu rekisteriotteessa./6/

## 8.2. Pakokaasupäästöjen raja-arvot

**Taulukko 2. Pakokaasupäästöjen raja-arvot Suomessa /9/.**

	Mittaus pakokaasuanalysaattorilla, joutokäynnillä, alle 1000 1/min				Mittaus pakokaasuanalysaattorilla, korotetulla pyörimisnopeudella, yli 2000 1/min				
	CO%	HC ppm	O <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> (%)	CO (%)	HC ppm	O <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> %	lambda
Bensiinimoottori 1.1.1978 - 1.10.1986	4,5	1000	5						
Bensiinimoottori 1.10.1986 >>> uudempi	3,5	600	5						
Bensiinimoottori katalysaattorilla	0,5	100	5		0,3	100	5		1±0,03
Bensiinimoottori 1.1.2001 >>>	Hyväksytty OBD-testi				0,2	100	5		1±0,03

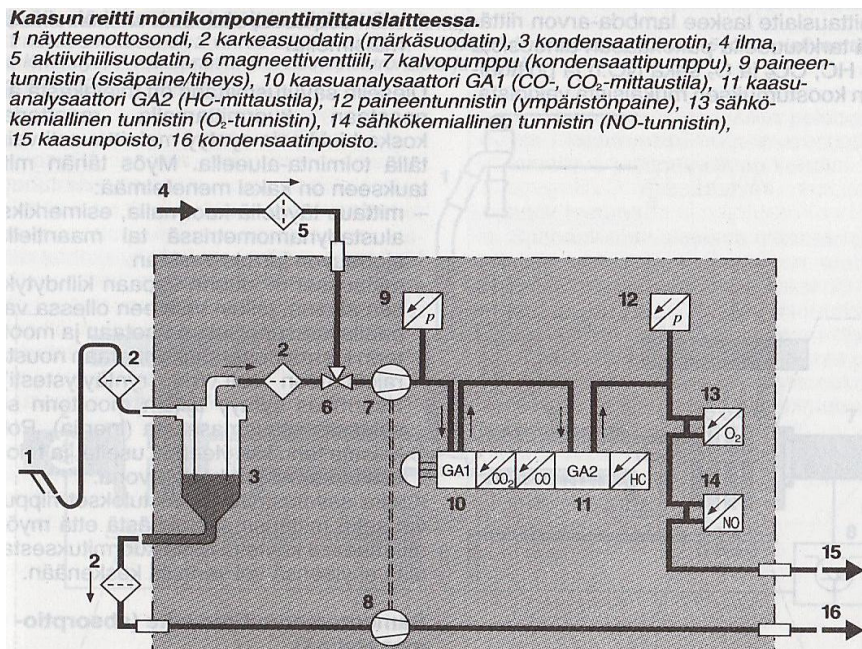
Lisäksi dieselajoneuvoilla raja-arvot ilmoitetaan savutusmittauksella ryntäysnopeudella, jolloin edellä mainittu raja-arvo ilmoitetaan **k** absorptiokertoimen avulla (m<sup>-1</sup>).

- vapaasti hengittävä  $k \leq 2,5$
- ahdettu  $k \leq 3$

### 8.3. Mittalaitteet korjaamoilla

Ajoneuvojen pakokaasupäästöt tarkistetaan vuosikatsastuksen yhteydessä. Pakokaasupäästöt voidaan myös tarkistaa korjaamoihin tarkoitettulla laitteella, jolloin tämä voi toimia moottorin vianetsinnässä. Saatujen mittaustulosten perusteella vika voidaan paikallistaa eri järjestelmiin, kuten sytytys- tai polttoainejärjestelmään.

Autokorjaamoissa olevat laitteet toimivat infrapunamenetelmällä, kuten kuvassa 3. Laitteen toiminta perustuu siihen, millä luonteenomaisella aallonpituudella kukin aineosa imee infrapunavaloa. Tämän valon perusteella voidaan aineosan pitoisuus tunnistaa. Laitteet korjaamoissa ovat nykyään monikomponenttilaitteita, jotka tunnistavat hiilimonoksidin (CO), hiilivedyn (HC), hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) sekä typenoksidit (NO<sub>x</sub>). Lisäksi laitteet ilmoittavat myös ylijäämähapen, joka liian suurena määränä vääristää tuloksia (max. 5 %) sekä lambda-arvon, joka ilmoittaa kuinka paljon palaminen poikkeaa ihanteellisesta arvosta ( $\lambda = 1$ )/6/



Kuva 3. Pakokaasuanalyysaattorin toimintakaavio /6/

## 8.4. Mittaaminen käytännössä

Suomen maanteillä on käytössä eri-ikäisiä ajoneuvoja. Vanhimmat jatkuvassa käytössä ovat seitsemänkymmentä- ja kahdeksankymmentäluvulta. Viitaten taulukkoon 2, näillä ajoneuvoilla on erilaiset raja-arvot pakokaasupäästöissä. Vanhimmissa ajoneuvoissa mitataan tyhjäkäynnillä hiilimonoksidi- ja hiilivetyarvot mittasondilla suoraan pakoputkesta.

Vuoden 1986 jälkeen rekisteröidyissä bensiiniautossa pakokaasujen raja-arvot ovat hieman tiukempia, mutta muuten mittaus tapahtuu samalla tavalla. Tämän jälkeen liikenteeseen tuli vähäpäästöiset kolmitoimisella katalysaattorilla varustetut ajoneuvot. Näiden ajoneuvojen raja-arvot mitataan tyhjäkäynnillä ja korotetulla pyörintänopeudella. Raja-arvot tiukkenivat huomattavasti aikaisempiin malleihin verrattuna.

Vuoden 2001 jälkeen rekisteröityihin ajoneuvoihin tulee tehdä OBD-testi sekä pakokaasu- ja hiilivetyarvot korotetulla pyörintänopeudella mittasondilla pakoputkesta. OBD-testissä pakokaasu- ja hiilivetyanalyysointilaite otetaan yhteyttä ajoneuvon omaan ruiskutuksen ja sytytyksen ohjausmoduuliin ja tämän perusteella nähdään onko järjestelmässä vikaa, joka saattaisi aiheuttaa korkeita pakokaasupäästöjä.

EU4-normiston mukaan vuoden 2005 jälkeen rekisteröidyissä ajoneuvoissa tulee olla myös pakokaasujen oma valvontajärjestelmä, joka ilmoittaa kuljettajalle mahdollisista pakokaasupäästöihin vaikuttavista vioista.

Dieselajoneuvoista pakokaasu- ja hiilivetyarvot mitataan ryntäyspyörintänopeudella pakoputkesta. Tässä testauksessa raja-arvona on absorptiokerroin ( $k$ ), joka ilmoittaa pakokaasujen hiukkaspäästöt. Testauksessa pakokaasut johdetaan erilliseen mittauslaatikkoon, jossa lähetetyn ja vastaanotetun valon perusteella pystytään savutusmäärä ilmoittamaan absorptiokertoimen avulla.

### 8.5. Mittauslaite Bosch BEA 270



**Kuva 4. Pakokaasuanalysaattori /11/**

Kuvan 4 mittauslaite on kuusikomponenttianalysaattori, joka on tarkoitettu bensiinimoottorien pakokaasujen testaamiseen. Mittaustarkkuuden ja pienen huollontarpeen takaavat infrapunamittaperiaate ja vastaanottiin sijoitettu vertailumittakaasu. /11/



**Kuva 5. Savutusmittaus /11/**

Kuvan laite on varustettavissa myös dieselsavutuksen mittaamiseen RTM 430-savutusmittakammion avulla. /11/

Mittauslaitteen Bosch BEA 270 ominaisuudet:

- Helppokäyttöinen, suomenkielinen ohjelmisto kotimaiseen päästömittaukseen.
- Suomen määräysten mukainen OBD-autojen OBD-diagnosi ja päästömittaus korotetulla pyörintänopeudella.
- Selkeä tuloste, jossa ovat mitta- ja raja-arvot sekä testitulosten tulkinta ("hyväksytty/hylätty").
- Pyörintänopeusmittausvaihtoehdot: akkujännite, TN/TD/EST/ YKK-signaalit, puristusanturi, optinen anturi ja OBD
- Aito NO<sub>x</sub>-mittaus lisävarusteina saatavien NO- ja NO<sub>2</sub>-mittakammioiden ansiosta/11/.

## 8.6. Mittauksen esivalmistelut ja mittaus

Tarkoituksena oli selvittää kohdeauton pakokaasupäästöt, jotta käytettävän polttoaineen ominaisuudet tulisi selvitettyä mahdollisimman tarkasti. Auton oli edellä mainittu kaasulla toimivaksi muutettu auto. Auton käyttöenergiaksi oli mahdollista valita bensiini tai kaasu, tässä tapauksessa kaasuna oli biokaasu, joka oli tankattu Bådenissa Ruotsissa.

Tarkoituksena oli vertailla polttoaineiden ympäristöystävällisyyttä molemmilla polttoaineilla ennen ja jälkeen katalysaattorin. Näin tulokset olisivat vertailukelpoisia. Koska katalysaattori parantaa päästöjen arvoja, pakoputkeen porattiin ennen katalysaattoria kahdentoista millimetrin reikä, jonka kautta mittasondi mahtui pakoputken sisään. Jälkeenpäin tähän reikään sovitettiin hitsaamalla tulppa, jonka pystyy avaamaan myös myöhemmin. Pakokaasumittaukset tehtiin molemmista paikoista, eli ennen ja jälkeen katalysaattorin.

Ajoneuvoon kytkettiin lisäjohdot, joiden välityksellä saatiin moottorin pyörimisnopeus sekä öljynlämpötila. Auto oli kytketty tehodynamometriin ja näin ollen voitiin auton tehot mitata samalla kertaa. Tehon mittauksesta on myöhemmin oma osionsa.

Samalla kun tehot mitattiin molemmilla polttoaineilla, saatiin myös pakokaasuarvot mitattua täydellä kuormituksella mittarin sondin avulla pakoputkesta. Liitteessä 1 ja 2 olevista tulosteista näkyy kaikki tiedot ja arvot molemmilla polttoaineilla ennen ja jälkeen katalysaattorin.

## 9. YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISYYDEN TOTEAMINEN

Liitteissä 1, 2 ja 3 ensimmäisenä näkyvät asiakkaan ja ajoneuvon tiedot. Ajoneuvona oli edellä mainittu Volkswagen Caddy, joka oli varustettu kaasulaitteistolla. Auto oli varustettu neljä sylinterisellä bensiinimoottorilla.

Mittaustuloksista saadaan selville moottorin pyörintänopeus (1/min), Öljynlämpötila (°C), hiilimonoksidi (CO), hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), hiilivedyt (HC), ylijäämä happi (O<sub>2</sub>) sekä lambda (λ). Typenoksidien (NO) arvoja ei tässä testissä ilmoitettu. Tulosten tulkinnassa keskityttiin lähinnä hiilimonoksidiin, hiilidioksidiin ja hiilivetyyn, koska näiden arvojen perusteella auton ympäristöystävällisyys voidaan parhaiten todeta.

Katalysaattorin jälkeen mitatut arvot näkyvät liitteessä 1 ja ennen katalysaattoria mitatut arvot näkyvät liitteissä 2 ja 3. Ensimmäiset arvot testilapuissa ovat kaasulla mitattuja ja jälkimmäiset bensiinillä. Liitteen 3 mittaus on tehty vielä silloin kun jäähdytyspuhallin auton edessä on ollut toiminnassa. Tällä on vertailun vuoksi pyritty selvittämään ajoviiman vaikutusta pakokaasupäästöihin. Tässä tapauksessa sillä ei kuitenkaan ole ollut merkittävää vaikutusta. Ilma on sitä tiheämpää, mitä kylmempää se on. Puhaltimella ilman lämpötilaa ei kuitenkaan saada sisätiloissa riittävän alhaiseksi, joten nämä päästöarvot voidaan todeta yhteneviksi ja tarkastellaan arvoja yksinomaan ennen ja jälkeen katalysaattorin.

Tulosten vertailu näkyy parhaiten seuraavassa taulukossa, jossa tarkastellaan hiilimonoksidia, hiilidioksidia ja hiilivety arvoja ennen ja jälkeen katalysaattorin molemmilla polttoaineilla:

Taulukko 2. Pakokaasupäästöt biokaasulla

<b><u>BIOKAASU</u></b>	<b><u>CO (%)</u></b>	<b><u>CO<sub>2</sub>(%)</u></b>	<b><u>HC (PPM)</u></b>
<b><u>KATALYSAATTORIN JÄLKEEN</u></b>	<b>0,002</b>	<b>12,90</b>	<b>35</b>
<b><u>ENNEN KATALYSAATTORIA</u></b>	<b>2,047</b>	<b>10,31</b>	<b>121</b>

Taulukko 3. Pakokaasupäästöt bensiinillä

<b><u>BENSIINI</u></b>	<b><u>CO (%)</u></b>	<b><u>CO<sub>2</sub>(%)</u></b>	<b><u>HC (PPM)</u></b>
<b><u>KATALYSAATTORIN JÄLKEEN</u></b>	<b>0,002</b>	<b>15,26</b>	<b>60</b>
<b><u>ENNEN KATALYSAATTORIA</u></b>	<b>3,161</b>	<b>12,88</b>	<b>168</b>

Taulukoista 2 ja 3 katalysaattorin jälkeen olevista tuloksista näkyy hiilimonoksidin (CO) arvo, joka on molemmilla polttoaineilla sama, eli 0,002 %. Arvo on niin pieni ja yhtenevä, koska katalysaattori toimii riittävän tehokkaasti. Noin pieni häikäpitoisuus saadaan

näkyviin jo pelkästään hallin sisäilmasta, koska autoa käytettäessä aina syntyy jonkin verran häkää, vaikka pakokaasujen poistojärjestelmä on päällä.

Hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) arvossa on sen sijaan eroja. Kaasulla hiilidioksidin arvo on 12,9 % ja bensiinillä 15,26 %. Hiilidioksidin arvoon vähentävästi katalysaattori ei vaikuta, joten tämä arvo on itse polttoaineesta johtuva ominaisuus. Kaasun käytöllä voidaan hiilidioksidipäästöjä vähentää tämän testin perusteella 2 - 3 %, kun autoa kuormitetaan täydellä teholla.

Hiilivedyn (HC) arvot ovat kaasulla 35 ppm ja bensiinillä 60 ppm. Tämä ero johtuu myös polttoaineesta, vaikka tässä testauksessa on katalysaattori mukana. Näin ollen katalysaattori ei voi poistaa kaikkia hiilivetyjä. Arvot oletettavasti nousisivat kaksin- tai jopa kolminkertaiseksi ilman katalysaattoria. Kun vertaillaan jäljempänä myös ennen katalysaattoria olevia arvoja, voidaan tämä varmistaa.

Ennen katalysaattoria kaasulla hiilimonoksidi arvo on 2,047 % ja bensiinillä 3,161 %, eli kaasun hiilimonoksidiarvo on noin prosentin alhaisempi. Ero kaasulla ja bensiinillä ei ole kovin suuri ja katalysaattori pystyy pudistamaan hiilimonoksidipäästöt kokonaisuudessaan.

Hiilidioksidiarvot ovat kaasulla 10,31 % ja bensiinillä 12,88 %. Kun verrataan näitä arvoja katalysaattorin jälkeen, ne ovat yllättävästi pienemmät samassa suhteessa. Tämän nousun katalysaattorin jälkeen voi selvittää seuraavasti: hiilidioksidin arvon kohoaminen katalysaattorin jälkeen johtuu lähinnä katalysaattorissa tapahtuvasta prosessista. Katalysaattorissa katalyyttinä on aine, joka nopeuttaa kemiallista reaktiota. Hiilidioksidia syntyy hiilipitoisten aineiden palamistuotteena ja hiilimonoksidi (CO) eli häkä hapettuu hiilidioksidiksi (CO<sub>2</sub>). Lisäksi palamattomat hiilivedyt hapettuvat hiilidioksidiksi ja vedeksi H<sub>2</sub>O. Tämän perusteella muita päästöjä puhdistessaan katalysaattori tuottaa itsekin hiilidioksidia./12/

Hiilivetyarvot ennen katalysaattoria ovat kaasulla 121 ppm ja bensiinillä 168 ppm. Hiilivetyjä syntyy epätäydellisen palamisen seurauksena ja myös silloin kun moottori polttaa moottoriöljyä. Tämä arvo on kuitenkin katalysaattorin jälkeen sallituissa arvoissa ja

noin kolmasosan pienempi katalysaattorin jälkeen. Tämä auto tuottaa noin 100 ppm vähemmän hiilivetyjä molemmilla polttoaineilla ennen ja jälkeen katalysaattorin. Uudella tai vähemmän ajetulla autolla hiilivetyarvot olisivat oletettavasti pienempi.

Kokonaisuudessaan tarkasteltuna pakokaasupäästöjä, voidaan todeta, että biokaasun päästöt ovat noin 20 – 30 % pienemmät kuin bensiinillä. Käytössä olevilla testauslaitteilla ei kuitenkaan voitu mitata sääntelemättömiä päästöjä, kuten rikkidioksidia ja typpioksiduaaleja, lyijyä, kylmäsavutusta eikä muita yhdisteitä. Kuitenkin biokaasun ominaisuuteen ja elinkaaripäästöihin suhteutettuna biokaasun käyttö on hyvin ympäristöystävällistä.

## 10. MOOTTORIN SUORITUSKYKY

Moottorin suorituskyvyllä pyritään kuvaamaan moottorin ominaisuuksia fysikaalisesti. Suorituskyky ilmoitetaan yleisesti vääntömomentin ja tehon perusteella eri kierrosnopeuksilla. Usein näitä suorituskyky suureita pyritään liioittelemaan tai kuvaamaan niitä eri perusteilla kuin ne todellisuudessa olisivat. Tämän vuoksi on tiedettävä mitä nämä auton suoritusta kuvaavat suureet tarkoittavat.

### 10.1. Moottorin suorituskykynormistot

Meillä on yleisesti käytössä saksalainen DIN- ja amerikkalainen SAE- normistot, mutta maailmalta löytyy myös muita normistoja jotka jonkin verran poikkeavat toisistaan. Näitä on esimerkiksi italialainen CUNA, englantilainen BSAU ja venäläinen GOST. Näissä normistoissa poikkeavuutta löytyy lähinnä mittausolosuhteissa./2/

#### DIN-teho

Saksalaisen DIN 70020 – normin mukaan moottorin teho ilmoitetaan nykyisin joko nettotehona tai bruttotehona. Nettoteholla tarkoitetaan moottorista saatua tehoa, jossa kaikki apulaitteet ovat kytketty päälle. Bruttoteholla taas tarkoitetaan ns. riisuttua moottoria, jossa apulaitteet saavat voimansa toisesta tehon lähteestä. Tämä bruttoteho on yleisesti 10–20 % suurempi kuin nettoteho. Aiemmin tämä DIN-teho kuvasi pelkästään nettotehoa, joten nykyisin on tuloksia tarkasteltava huolellisemmin erehdysten varalta./2/

#### SAE-teho

Amerikkalaisten SAE-teholla tarkoitetaan bruttotehoa, jossa apulaitteet eivät ole mukana ja näin ollen tehoarvot ovat suurempia. Tätä tehonormistoa on yleisesti käytetty lähinnä myyntityössä, jolloin tulokset saadaan näyttämään korkeammilta./2/

## 10.2. Teho (P)

Moottorin tehon avulla pystytään vertailemaan eri moottoreiden ominaisuuksia. Tehomääritelmän mukaan kysymyksessä on pätö- eli hyötyteho, jonka moottori antaa kapiakselilta. Kysymyksessä voi myös olla teho, jonka jokin lisälaite ottaa moottorista. Nimellisteholla tarkoitetaan hyötytehoa moottorin toimiessa täyskuormatilanteessa. Hyötyteho on myös sama kuin nettoteho./6 s.455/

### Jarrutettu teho eli akseliteho ( $P_e$ )

Jarrutetulla teholla tarkoitetaan tehoa mikä saadaan jarruttamalla moottorin kampiakselia dynamomerin avulla. Yksinkertaisemmillaan tehoa määritettäessä moottorin kampiakselilta saadaan vääntömomentti, jonka avulla teho voidaan laskea pyörintänopeuden mukaan./2 s.186/

$$P_e = M * \omega$$

$$P_e = \text{akseliteho (Nm/s = W)}$$

$$M = \text{vääntömomentti (Nm)}$$

$$\omega = \text{akselin kulmanopeus (m/s)}$$

$$\omega = 2 * \pi * n, \text{ missä } n = \text{kampiakselin pyörintänopeus (1/s)}$$

### Nimellisteho ja -pyörintänopeus

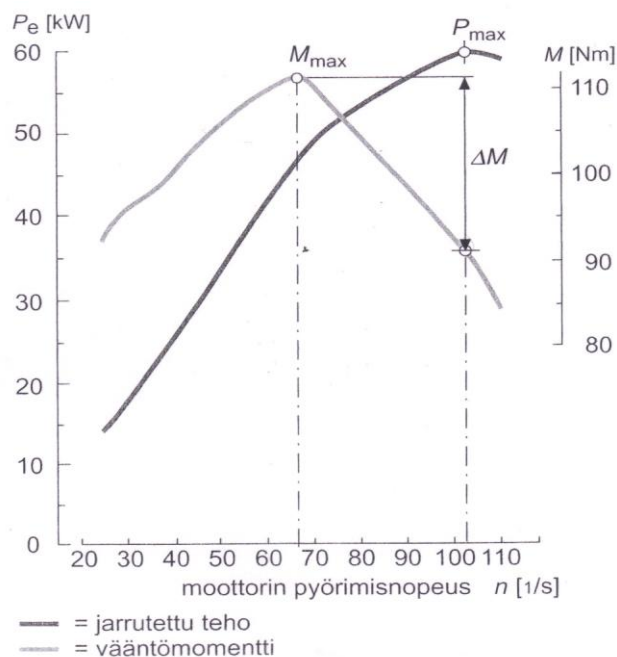
Nimellisteholla tarkoitetaan netto- tai bruttotehoa nimellispyörintänopeudella, minkä valmistaja on ilmoittanut. Nimellispyörintänopeus on se nopeus milloin saavutetaan maksimiteho./2,s186/

### 10.3. Vääntömomentti (M)

Vääntömomentti kuvaa sitä millä voimakkuudella palaminen sylinterissä vaikuttaa kampikoneiston välityksellä kampiakselilla. Maksimivääntömomentti saavutetaan jollain käyntinopeudella, silloin kun palaminen sylinterissä on täydellisemmillään. Vääntömomentin suuruuden tuntee autossa silloin, kun moottorin käyntinopeus alkaa laskea täyden kuormituksen tilanteessa. Tällöin moottori voi jopa sammua, jos välitystä vaihteistossa ei muuteta./2, s.186–187/

### 10.4. Moottorin tehon ja vääntömomentin kuvaajat

Moottorin teho ja vääntömomentti kuvataan yleisesti samaan kuvaajaan, jolloin vertaileminen ja tulkitseminen ovat helppoa. Kuvassa 6 tummempi kuvaaja ilmoittaa tehon nousua ja maksimipistettä kierrosnopeuden suhteen. Tehon arvo voidaan lukea vasemmalla olevasta asteikosta. Vääntömomentin kuvaaja on piirretty vaaleammalla ja sen arvo eri pyörintänopeuksilla on luettavissa oikean puoleisesta asteikosta. Käyrät ovat yleisesti samanmuotoisia eri moottoreilla.



**Kuva 6. Tehon ja vääntömomentin kuvaajat/2, s.186/.**

## 10.5. Tehon ja vääntömomentin mittaus

Tehon ja vääntömomentin mittaukseen on olemassa omat laiteensa, joilla voidaan tarkastella auton ominaisuuksia. Autonvalmistajilla on yleisesti käytössä testauspenkit sarjavalmisteisille moottoreille, jolloin mittaus tapahtuu suoraan kampiakselilta. Tätä testauslaitetta kutsutaan moottoridynamometriksi. Tässä laitteessa ei ole mukana voimansiirtoa eikä välttämättä muitakaan apulaitteita.

Korjaamojen ja virityspajojen laitteistot perustuvat auton pyöriltä saatavaan tehon ja vääntömomentin mittaukseen, jota kutsutaan alustadynamometriksi. Näissä laitteistossa auto ajetaan rullien päälle ja auto lukitaan luotettavasti alustaan, kuten kuvassa 7. Testauslaitteella voidaan määrittää kuormitusvastus telastolle, jolla voidaan simuloida oikeaa ajovastusta. Vastuksella pyritään saamaan normaali ajotilanne, joka vastaa oletettua vierintä- ja ilmanvastusta. Moottoria kuormitetaan täydellä teholla käyttäen suoraa välitystä, eli yleisesti nelosvaihde on suora. Ainoa välityssuhde tulee tällöin vetopyörästä.



Kuva 7 Alustadynamometri

Auto tuli kiinnittää tukevasti alustaansa, jotta mahdollinen hyppääminen telaston päältä estettiin. Kiinnittäminen tapahtui liinoilla molemmista päistä lattiaan. Koska autoa kuormitettiin täydellä teholla, piti huomioida myös riittävä jäähditys. Tämä toteutettiin erillisellä tuulettimella auton edessä. Myös pakokaasut tuli ohjata imurin avulla pois hallitilasta.

Mittauksessa autoa kiihdytettiin tasaisesti ja dynamometri kytkettiin toimimaan noin kahden tuhannen moottorikierron kohdalla. Kun moottori saavutti maksimikierronopeuden, tuli veto katkaista kytkinpolkimen avulla ja näin antaa pyörien pysähtyä tasaisesti. Tässä vaiheessa kauko-ohjaimesta pysäytettiin myös varsinainen mittaus, jolloin tehon ja vääntömomentin kuvaajat tallentuivat dynamometrin muistiin.

Alustadynamometrillä saatavat tulokset eivät täysin ole luotettavia. Laitteiden välillä voi olla kymmenenkin prosentin heittoja mittaustuloksissa. Telaston ja renkaan välinen kitka voi heitellä tai itse laite ei ole kalibroitu oikein jne. Sitä vastoin moottoridynamometrillä saatavat tulokset ovat luotettavia. Samalla voidaan myös tarkastella esimerkiksi moottorin imuilmamäärää, polttoaineen suihkutusmäärää ja pakokaasujen lämpötilaa. Moottoridynamometriä käyttö edellyttää laajoja toimenpiteitä, joten sen käyttö on jäänyt pelkästään valmistajien käyttöön.

Alustadynamometrillä saatavat tulokset ovat kuitenkin vertailukelpoisia ja hyödyllisiä, jos mittaukset tehdään samalla laitteella. Tarkoituksena ei aina ole saada mahdollisimman suurta tulosta, vaan pyritään vertailemaan kuinka paljon muutos on aikaansaanut moottorin suorituskyvyssä. Muutos saattaa jossain tapauksessa huonontaa tilannetta, jolloin voidaan hakea parempaa ratkaisua tai säätöä.

## **11. SUORITUSKYVYN VERTAILU BIOKAASULLA JA BENSIINILLÄ**

Suorituskyvyn vertailu biokaasulla ja bensiinillä antaa yhden kriteerin käytettävään polttoaineeseen. Yleisesti on haluttua saada vaihtoehtoisella polttoaineella toimiva auto, joka on mahdollisimman taloudellinen ja suorituskyvyltään vähintään vastaava kuin bensiinikäyttöinen ja kaiken lisäksi sen tulisi olla ympäristöystävällinen. Suorituskyvyn mittauksella alustadynamomerissä saadaan yksi vertaileva tulos siihen, kannattaako käytettyyn autoon muutostyö tehdä, vai pysytäänkö alkuperäisessä polttoaineessa.

Suorituskyvyn mittaaminen suoritettiin useaan kertaan, jolloin löydettiin paras mahdollinen teho ja vääntömomentti moottorille. Tarkoituksena oli saavuttaa bensiinimoottorille annetut tavoitteet. Säätoimenpiteitä ei voida tehdä nykyisiin autonmoottoreihin ”kotikonstein”, koska nykyiset moottorit ovat tietokoneohjattuja ja näihin pääsee käsiksi vain tietokoneella ja valmistajan ohjelmistolla. Kohdeautoa pystyimme kuitenkin säätämään asennussarjaan lisättävällä ennakonsäätömoduulilla sekä kaasun ruiskutusta muuttavalla valmistajan ohjelmistolla. Nämä eivät kuuluneet varsinaiseen sarjaan, vaan ne jouduttiin hankkimaan erikseen.

Sytytysennakon säätö on välttämätöntä, koska kaasun oktaaniluku on huomattavasti korkeampi. Koska autossa on molemmat polttoaineet käytössä, tulee kaasukäytöllä sytytysennakkoa aikaistaa, jotta palaminen moottorissa olisi mahdollisimman täydellistä. Jos taas bensiinillä pidettäisiin samaa sytytysennakkoa kuin kaasulla, tämä voisi aiheuttaa nakutusta. Edellä mainitulla lisälaitteella voitiin ennakkoa säätää kaasukäytölle sopivaksi.

Lisäksi valmistajan omalla ohjelmistolla ja tietokoneen avulla pystyttiin ruiskutusmääriä muuttamaan tietyillä kierrosnopeuksilla. Tässä tapauksessa ruiskutuksen säätäminen jäi myöhäisempään ajankohtaan. Tarkemmassa säätämisessä ruiskutus tulisi säätää koko kierrosnopeusalueella, jolloin voitaisiin löytää optimaaliset käyttöominaisuudet kyseiselle moottorille.

## 11.1. Suorituskyvyn tulokset

Liitteiden 4, 5 ja 6 mukaan suorituskyvyn testaaminen tehtiin bensiinillä ja kaasulla kolmessa vaiheessa. Kaasulla testaaminen tapahtui ennen säätötoimenpiteitä sellaisena kuin auto luovutettiin muunnossarjan asentamisen jälkeen. Lisäksi mittaus tehtiin 12- ja 15 asteen sytytysennakolla.

**Taulukko 4. Suorituskyvyn vertailu**

	<i>Teho (Hp) / rpm</i>	<i>Vääntömomentti (Nm) / rpm</i>
<i>Bensiini</i>	<b>84,3 / 6181</b>	<b>125 / 4094</b>
<i>Biokaasu</i>	<b>65,5 / 5489</b>	<b>100 / 3389</b>
<i>Biokaasu 12° ennakolla</i>	<b>70,8 / 5640</b>	<b>108 / 3821</b>
<i>Biokaasu 15° ennakolla</i>	<b>73,9 / 5489</b>	<b>109 / 3870</b>

## 11.2. Tulosten tulkinta

Tehot on taulukossa ilmoitettu hevosvoimien mukaan, koska dynamometrin asetukset olisi pitänyt muuttaa SI-järjestelmän mukaisiksi. SI-järjestelmän mukaan 1 Hp = 0,74570 kW. Tällä ei kuitenkaan ole merkitystä tulosten tulkinnassa, koska tulosten vertailu on lähtökohtana.

Taulukon 4 mukaan bensiinillä tehon arvoksi saatiin 84,3 Hp ja vääntömomentiksi 125 Nm. Biokaasulla ilman ennakonsäätömoduulia maksimi-arvot olivat 65,5 Hp ja 100 Nm. Tämän mukaan biokaasun käyttö tavallisessa bensiinimoottorissa pudottaisi suorituskykyä noin 22 %. Ennakonsäätömoduulin 12°:n säätöasetuksella maksimi-arvot nousivat huomattavasti. Tällä säädöllä päästiin tehoissa 70,8 Hp ja vääntömomentti nousi 108 Nm. 15°:n ennakolla arvot nousivat lisää tehojen osalta 73,9 Hp ja vääntömomentti 109 Nm.

Sytytysennakkoa ei voinut aikaistaa enempää tällä laitteella, joten nämä olivat näillä säätötoimenpiteillä maksimi-arvot. Suorituskyvyssä ei ollut enää niin suurta eroa, että sitä

huomaisi normaalissa ajossa. Lähemmäs bensiinin arvoja päästäisiin vielä ruiskutusta muuttamalla, joka jäi myöhäisempään ajankohtaan.

## 12. YHTEENVETO

Tavallisen bensiinikäyttöisen auton muuttaminen kaasukäyttöiseksi antaa omistajalleen mahdollisuuden polttoaineen valinnassa. Kun halutaan korostaa ympäristöystävällisyyttä ja auton helppoa käsiteltävyyttä usealla polttoaineella sekä polttoaineen hintaa, on auton muutostyö kannattavaa. Muutoksen kustannukset ovat halpoja, koska ne voidaan tehdä jälkiasennuksena. Koska kaasujen hinta on vielä suhteellisen halpaa verrattuna bensiiniin, maksaa muutos itsensä takaisin nopeasti riippuen ajomäärästä.

Pakokaasupäästöjen osalta muutos pudottaa varsinkin hiilidioksidin määrää, kun otetaan huomioon elinkaaripäästöt. Biokaasun elinkaaripäästöjen mukaan hiilidioksidin määrä voi olla jopa negatiivinen jos biomassaa voidaan hyödyntää tehokkaasti. Aromaattisia yhdisteitä biokaasusta ei synny, joten sen osalta se on myös ympäristöystävällisempää kuin fossiiliset polttoaineet. Muihin päästöihin pakokaasutekniikka on kehittynyt niin hyvin, että biokaasun käytölle ei ole esteitä.

Suorituskyky on myös yksi valintakriteeri. Kun käytetty polttoaine antaa vastaavat suorituskykyominaisuudet kuin fossiilinen polttoaine, on kannattavuus muutokseen perusteltua. Biokaasulla päästään lähes vastaaviin suorituskykyarvoihin kuin alkuperäisellä bensiinimoottorilla. Ero on niin vähäinen, ettei sitä huomaa normaalissa ajossa. Jos kuitenkin halutaan päästä lähemmäs fossiilisen polttoaineen suorituskykyä, tulee moottorille tehdä joitakin muutoksia. Koska biokaasun oktaaniluku on korkeampi, tulisi puristussuhdetta korottaa, jotta palaminen sylinterissä tapahtuisi paremmin. Tämä tuo taas ongelmia bensiinin käytölle, jolle pienempi puristussuhde on parempi. Ahtimen käyttö ja sen säädettävyys tuo paremmat ominaisuudet molemmille polttoaineille. Jos ahtopaineet olisivat optimaaliset molemmille polttoaineille, biokaasun käyttö olisi oletettavasti tehokkaampaa.

Esteeksi kaasujen käytölle nousee kaasun saatavuus, koska tankkauspisteitä ei löydy Pohjois-Suomesta. Pohjoisin biokaasua myyvä yritys löytyy Keski-Suomesta ja maakaasua saadaan vain Etelä-Suomen suuremmista kaupungeista. Ruotsista kuitenkin löytyy biokaasunvalmistajia pohjoisesta, mutta tällöin tankkausmatkat kasvavat. Lappia Opiston

biokaasuvalmistuslaitos valmistuessaan tulee kuitenkin osaltaan tukemaan liikennekaasun yleistymistä.

Toinen este kaasuajoneuvojen yleistymiselle tulee ilmeisesti olemaan verotus. Valtiovallalla on tarkoitus tukea enemmän metanolin käyttöä ja samaan aikaan nostaa verotusta kaasuille.

Jos maatilojen ja kaatopaikkojen metaanivarasto voitaisiin hyödyntää paremmin, hiilidioksiinipäästöissä voitaisiin päästä sille tasolle, että näiden päästöjen osuus ei enää nousisi. Tämä tietenkin on kustannuskysymys, koska perustamiskustannukset liikennekaasun valmistamiseen ovat korkeat.


### 13. LÄHDELUETTELO

- /1/ Alakangas, Eija, Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuudet, VTT Energia, 2000.
- /2/ Auto- ja kuljetusalan erikoistumisoppi 2, Moottori, Otava, 1997.
- /3/ Bell, Alexander, Graham, Uusi moottoritekniikka, Alfamer Oy, 2004.
- /4/ Biokaasu, [WWW-dokumentti],  
[<http://www.biokaasuyhdistys.net>] 1.9.2010.
- /5/ Biokaasuajoneuvoihin liittyviä kysymyksiä, [WWW-dokumentti],  
[<http://www.liikennebiokaasu.fi>] 1.9.2010.
- /6/ Bosch Autoteknillinen taskukirja, 6.painos, 2003.
- /7/ Laitala, M., Diesel-katalysaattorit kehittyvät, 2005, [WWW-dokumentti],  
[<http://www.tekniikkatalous.fi>] 20.9.2010.
- /8/ Maatilatason biokaasulaitoksen toteutus selvitys, OAMK, Metener Oy, 2010.
- /9/ Paavola, Alpo, Rauman ammattiopisto, [WWW-dokumentti],  
[<http://www.autotieto.net/pakokaasutkurssi/oppimateriaalit>] 1.9.2010.
- /10/ Rantanen, Kalevi, Arvokas bioenergia, Tekniikan maailma, 19/10, s.64.
- /11/ Tecalemitin www-sivut, [[www.tecalemit.fi](http://www.tecalemit.fi)] 20.9.2010.
- /12/ Wikipedian www-sivut, [[www.wikipedia.fi](http://www.wikipedia.fi)] 20.9.2010.

## 14. LIITELUETTELO



- Liite 1. Pakokaasuarvot. Mittaus pakoputken päästä
- Liite 2. Pakokaasuarvot. Mittaus ennen katalysaattoria
- Liite 3. Pakokaasuarvot. Mittaus ennen katalysaattoria jäähdytyspuhaltimella
- Liite 4. Tehon ja vääntömomentin kuvaaja bensiinillä
- Liite 5. Tehon ja vääntömomentin kuvaaja ennen ennakonsäätöä ja 15°:een ennakolla
- Liite 6. Tehon ja vääntömomentin kuvaaja 12°:een ennakolla

## Liite 1.

<i>Tuloste</i>				
<i>Pakokaasut/bensiini</i>				
<i>Tilaus</i>	<i>Päiväys</i> 31.05.2010 17:19:32			
<i>Asiakas</i>	<i>Korjaamo</i> Ammattiopisto Lappia Auto-osasto Autoilijantie 1 94450 Keminmaa			
<i>Puhelin</i>	<i>Puhelin</i> (016) 270 747			
<i>Fax</i>	<i>Fax</i>			
<i>Sähköposti</i>	<i>Sähköposti</i>			
<i>Ajoneuvo</i>	<i>Bensiini 4-tahti / 4 Sylinteri / ROV</i>			
<i>Merkki</i>	<i>OUI-493</i>			
<i>Malli</i>				
<i>Moottorikoodi</i>				
<i>Rekisterinumero</i>				
<i>Alustanumero</i>				
<i>Mittarilukema</i>				
 <i>Vaihe: Pakokaasut/bensiini</i>				
<i>Pakokaasut/bensiini kaasut / pakop. päästä</i>				
<i>Sylinteri</i>				
<i>Mittaustulokset</i>	<i>yksikkö</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Mitattu</i>
<i>Pyörintänopeus</i>	<i>1/min</i>	---	---	6270
<i>Öljyn lämpö</i>	<i>°C</i>	---	---	78.2
<i>CO</i>	<i>%vol</i>	---	---	0.002
<i>CO2</i>	<i>%vol</i>	---	---	12.9
<i>HC</i>	<i>ppm vol</i>	---	---	35
<i>O2</i>	<i>%vol</i>	---	---	0.44
<i>Lambda</i>		---	---	1.022
<i>NO</i>	<i>ppm vol</i>	---	---	---
<i>Pakokaasut/bensiini / pakop. päästä</i>				
<i>Sylinteri</i>				
<i>Mittaustulokset</i>	<i>yksikkö</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Mitattu</i>
<i>Pyörintänopeus</i>	<i>1/min</i>	---	---	6380
<i>Öljyn lämpö</i>	<i>°C</i>	---	---	63.9
<i>CO</i>	<i>%vol</i>	---	---	0.002
<i>CO2</i>	<i>%vol</i>	---	---	15.26
<i>HC</i>	<i>ppm vol</i>	---	---	60
<i>O2</i>	<i>%vol</i>	---	---	0.16
<i>Lambda</i>		---	---	1.004
<i>NO</i>	<i>ppm vol</i>	---	---	---



Mittaus pakoputken päästä. Ensimmäinen mittaus kaasulla, toinen bensiinillä.

## Liite 2.

<b>Tuloste</b>				
<b>Pakokaasut/bensiini</b>		 <b>BOSCH</b>		
<b>Tilaus</b>	<b>Päiväys</b> 24.09.2010 14:49:14			
<b>Asiakas</b>	<b>Korjaamo</b> Ammattiopisto Lappia Auto-osasto Autoilijantie 1 94450 Keminmaa Puhelin (016) 270 747 Fax Sähköposti			
<b>Ajoneuvo</b>	Bensiini 4-tahti / 4 Sylinteri / EFS ja nokka-aks.anturi			
<b>Merkki</b>				
<b>Malli</b>				
<b>Moottorikoodi</b>				
<b>Rekisterinumero</b>				
<b>Alustanumero</b>				
<b>Mittarilukema</b>				
<b>Vaihe: Pakokaasut/bensiini</b>				
<b>Pakokaasut/bensiini</b>				
<b>Sylinteri</b>				
Mittaustulokset	yksikkö	Min.	Max.	Mitattu
Pyörintänopeus	1/min	---	---	6470
Öljyn lämpö	°C	---	---	91
CO	%vol	---	---	2.047
CO2	%vol	---	---	10.31
HC	ppm vol	---	---	121
O2	%vol	---	---	1.59
Lambda		---	---	1.008
NO	ppm vol	---	---	---
<b>Pakokaasut/bensiini</b>				
<b>Sylinteri</b>				
Mittaustulokset	yksikkö	Min.	Max.	Mitattu
Pyörintänopeus	1/min	---	---	6450
Öljyn lämpö	°C	---	---	93.3
CO	%vol	---	---	3.161
CO2	%vol	---	---	12.88
HC	ppm vol	---	---	168
O2	%vol	---	---	1.82
Lambda		---	---	0.982
NO	ppm vol	---	---	---
<b>Sivu 1 / 1</b>	<b>Bensiini 4-tahti / 4-syl. / EFS ja nokka-aks.anturi</b>			 <b>BOSCH</b>

Mittaus ennen katalysaattoria. Ensimmäinen mittaus kaasulla, toinen bensiinillä.

## Liite 3.

<b>Tuloste</b>				
<b>Pakokaasut/bensiini</b>		 <b>BOSCH</b>		
<b>Tilaus</b>	<b>Päiväys</b> 24.09.2010 15:01:30			
<b>Asiakas</b>	<b>Korjaamo</b> Ammattiopisto Lappia Auto-osasto Autoilijantie 1 94450 Keminmaa Puhelin (016) 270 747 Fax Sähköposti			
<b>Ajoneuvo</b>	Bensiini 4-tahti / 4 Sylinteri / EFS ja nokka-aks.anturi			
<b>Merkki</b>				
<b>Malli</b>				
<b>Moottorikoodi</b>				
<b>Rekisterinumero</b>				
<b>Alustanumero</b>				
<b>Mittarilukema</b>				
<b>Vaihe: Pakokaasut/bensiini</b>				
<b>Pakokaasut/bensiini</b>				
<b>Sylinteri</b>				
Mittaustulokset	yksikkö	Min.	Max.	Mitattu
Pyörintänopeus	1/min	---	---	6380
Öljyn lämpö	°C	---	---	92.4
CO	%vol	---	---	2.708
CO2	%vol	---	---	9.89
HC	ppm vol	---	---	136
O2	%vol	---	---	2.41
Lambda		---	---	1.028
NO	ppm vol	---	---	---
<b>Pakokaasut/bensiini</b>				
<b>Sylinteri</b>				
Mittaustulokset	yksikkö	Min.	Max.	Mitattu
Pyörintänopeus	1/min	---	---	6380
Öljyn lämpö	°C	---	---	93.4
CO	%vol	---	---	4.132
CO2	%vol	---	---	12.36
HC	ppm vol	---	---	173
O2	%vol	---	---	1.49
Lambda		---	---	0.941
NO	ppm vol	---	---	---
<b>Sivu 1 / 1</b> Bensiini 4-tahti / 4-syl. / EFS ja nokka-aks.anturi				
				 <b>BOSCH</b>

Mittaus ennen katalysaattoria. Ensimmäinen mittaus kaasulla, toinen bensiinillä. Jäähdytyspuhallin auton edessä.

Liite 4.



Liite 5.



Liite 6.

