

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma
Auto- ja korjaamotekniikka

Tutkintotyö

Jani Sillanmikko

HYBRIDIMOOTTORI VS. BENSIINIMOOTTORI

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2007

TKT Marko Mäkilouko
TAMK, Moottoritekniikka-kurssi, Pekka Hjon

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikka
Auto- ja korjaamotekniikka
Sillanmikko, Jani
Tutkintotyö
Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Toukokuu 2007
Hakusanat

Hybridimoottori vs. bensiinimoottori
75 sivua + 2 liitesivua
TKT Marko Mäkilouko
TAMK, Moottoritekniikka-kurssi, Pekka Hjon

moottori, hybridi, bensiini

TIIVISTELMÄ

Autoteollisuuden jatkuvuuden varmistamiseksi on kehitetty bensiinimoottoriin perustuva hybriditekniikka. Päästörajojen tiukentuminen ja ilman saastuminen ajaa valmistajat kehittämään vaihtoehtoisia polttoaineita edes osittain käyttäviä tekniikoita. Hybriditekniikkaa kehitetään siihen suuntaan, että sen osto- ja käyttökustannushinnat kilpailisivat tasavertaisesti vastaavan bensiinimoottorilla varustetun auton kanssa.

Työtä varten hankin asiantuntemusta ja kontakteja SATL:n järjestämästä koulutuksesta Helsingistä. Kurssilla oli uutta tietoa moottoritekniikasta ja polttoaineista. Lisäksi suurena apuna olivat Volvon maahantuonti ja VTT eli Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Näistä paikoista tuettiin työn onnistumista kiitettävällä tavalla.

Työssä käsiteltiin henkilöautoissa olevia bensiinimoottoriin pohjautuvia hybridejä. Niiden toiminta ja rakenne sekä käytössä olevat vaihtoehtoiset polttoaineet ovat pääsijalla tässä työssä. Kantaa on otettu vertailevassa mielessä kaikkiin eroihin, joita hybridimoottorin ja bensiinimoottorin väliltä löytyy esim. autoverotukseen, polttoaineverkostoon sekä polttoaineiden vuosikustannuksiin ja vuosittaisiin päästöihin.

Työstä voi lopulta päätellä sen, että hybriditekniikka on tulossa kiihtyvällä vauhdilla markkinoille, ja se on pakollinen askel ennen siirtymistä esimerkiksi vielä liian kalliiseen polttokennoautoon. Selvitysten mukaan bensiinimoottorin elinkaari jatkuu mahdollisesti vielä 15-20 vuotta, kunhan käytössä ovat loppuun asti kehitetyt nykytekniikat: suorasuihkutus, muuttuva venttiilien ajoitus ja mahdollisesti ahtaminen. Työtä voi hyödyntää tulevien insinööriopiskelijoiden opetuksessa.

TAMPERE POLYTECHNIC

Car- and transport technique

Car- and garage technique

Sillanmikko, Jani

Engineering Thesis

Thesis Supervisor

Commissioning Company

May 2007

Keywords

Hybrid engine vs. Petrol engine

75 pages, 2 appendices

Marko Mäkilouko(Tecn. Dr.)

TAMK, Engine technique-course, Pekka Hjon

engine, hybrid, petrol

ABSTRACT

In this work is focused to passenger cars, which are equipped with petrol engines and the engines are also equipped with further device that uses an alternative fuel. Exhaust gas emission limits are so tight that it forces car manufacturers to create new engine- and power line techniques.

This new technique is coming fast to the markets. Almost every car manufacturer has launched new hybrid models on the market.

These new hybrid models are marketing themselves with lower exhaust gas emissions and cleaner nature.

Hybrid technique contains few different variations. Usual variations are petrol/compressed natural gas, petrol/biogas, petrol/liquefied petroleum gas and petrol/electricity. This work concentrates on these four different types of hybrid techniques.

There are coming new models, example from Volvo is coming Multifuel-model. This model was launched last year as a prototype so the all information is classified. That was the reason why this Multifuel doesn't include this work.

This work could be used in engine technique class where new engineers study important new engine techniques.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO	4
1 JOHDANTO	6
2 MAAILMAN AUTOKANTA JA AUTOJEN PÄÄSTÖT	7
3 MOOTTORITEKNIIKAN VAATIMUKSET	8
4 HYBRIDIAUTOJEN YLEISTYMINEN	9
5 YLEISKUVAUS ESITELTÄVISTÄ HYBRIDITEKNIIKOISTA	10
5.1 VOLVON BI-FUEL-JÄRJESTELMÄ	10
5.2 TOYOTA PRIUS (HYBRID SYNERGY DRIVE)	12
6 POLTTOAINEET	14
6.1 KAASUT, YLEISTÄ	14
6.2 MAAKAASU ELI CNG (COMPRESSED NATURAL GAS)	15
6.3 BIOKAASU	17
6.4 MAAKAASUN JA BIOKAASUN SOVELTUVUUS MOOTTORIPOLTTOAINEEKSI	18
6.5 MAAKAASUN JA BIOKAASUN EROT	19
6.6 NESTEKAASU ELI LPG (LIQUIFIED PETROLEUM GAS)	19
6.7 NESTEKAASUN SOVELTUVUUS MOOTTORIPOLTTOAINEEKSI	20
6.8 BENSIINI	21
6.9 KAASUN PALAMINEN /6/	22
6.10 POLTTOAINEIDEN KÄYTTÖTURVALLISUUS	27
6.11 POLTTOAINEIDEN RIITTOISUUS JA KEHITYS	27
6.12 POLTTOAINEIDEN OMINAISUUKSIEN VERTAILU	31
6.13 POLTTOAINEIDEN JAKELUVERKOSTOT	31
7 BI-FUEL HYBRIDIJÄRJESTELMIEN KOMPONENTIT JA TOIMINTA /14/	33
7.1 KAASUJÄRJESTELMIEN EROT (CNG JA LPG)	43
7.2 BI-FUEL HYBRIDIJÄRJESTELMÄN SOVITUKSET BENSIINIMOOTTORIIN	51
8 SÄHKÖHYBRIDITYYPIT JA TOIMINTA /13/	51
9 TOYOTA PRIUKSEN HYBRIDIJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTA	53
9.1 TOYOTA PRIUKSEN MOOTTORIN TYÖKIERTO /4/	60
9.2 HYBRIDIJÄRJESTELMÄN TOIMINTA KAAVIOKUVIN ESITETTYNÄ /1/	61
10 VUOSITTAISET KOKONAISKUSTANNUKSET	63
10.1 POLTTOAINEVAIHTOEHTOJEN KOKONAISKUSTANNUKSET	63
10.2 KOKONAISVUOSIKUSTANNUKSET VOLVO BI-FUEL	64
10.3 AUTOVEROTUKSEN VAIKUTUKSET AUTON ARVON ALENTUMISEEN	64
11 PÄÄSTÖT	66
12 HYBRIDIEN LISÄÄNTYMISEN EDISTÄMISKEINOT /9/	69
13 PÄÄTELMÄT	71
14 YHTEENVETO	73
LÄHTEET	75
LIITTEET	

1 Moottorien ja ajoneuvotekniikan kehitys

2 Eri polttoaineiden ja energiaketjujen kasvihuonepäästöt

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Symbolit:

CO	hiilimonoksidi
CO ₂	hiilidioksidi
HC	hiilivedyt
NO ₂	typpidioksidi
NO	typpioksidi
NO _x	typen oksidit
PM	hiukkaset (particulate matter)
C	hiili
H	vety

Lyhenteet:

CNG	paineistettu maakaasu (Compressed Natural Gas)
LNG	nestemuodossa oleva maakaasu (Liquefied Natural Gas)
LPG	nestekaasu (Liquified Petroleum Gas)
Bi-fuel	kaksoispolttoaineauto
ICE	polttomoottori (Internal Combustion Engine)

1 JOHDANTO

Hybriditekniikka on nykyään niin pitkälle kehittynyttä, että se kilpailee vahvasti jalansijasta kovassa bensiini- ja dieselmoottorien seurassa. Hybriditekniikan lanseerauksen on aiheuttanut kasvava autojen määrä maailmassa ja niiden tuottamat pakokaasupäästöt, jotka aiheuttavat otsonikatoa ja kasvihuoneilmiötä.

Hybriditekniikka perustuu tavalliseen bensiinimoottoriin, johon on asennettu lisälaitteisto, jolla voidaan hyödyntää vaihtoehtoista polttoainetta. Tällaisia yleisimpiä variaatioita ovat bensiini/maakaasu (CNG), bensiini/biokaasu, bensiini/nestekaasu (LPG) ja bensiini/sähkö.

Tällä työllä haluan tuoda esiin uusinta mahdollista tietoa hybriditekniikasta ja siten parantaa tulevien autoinsinöörien ja ajoneuvoasentajien tietämystä tästä tulevaisuudessa alan valtaavasta tekniikasta. Asiantuntemusta kaivataan siis vastedes tälle moottoritekniikan osa-alueelle.

Työssä keskitytään vain henkilöautojen hybriditekniikkaan ja yleisimpiin versioihin eli bensiini/maakaasu, bensiini/biokaasu, bensiini/nestekaasu ja bensiini/sähkö. Hybridimoottoria verrataan johdonmukaisesti vastaavaan bensiinimoottoriin.

Työ perustuu lähinnä Volvon Bi-fuelissa ja Toyotan Priuksessa käytettävään tekniikkaan ja niiden toimintaan. Lisäksi selvitetään, mitä esimerkiksi ovat maakaasu tai biokaasu ja kuinka ne eroavat ominaisuuksiltaan bensiinistä. Kantaa otetaan myös autoilun verotukseen ja verohelpotuksiin sekä polttoaineiden jakelujärjestelmien nykytilaan.

2 MAAILMAN AUTOKANTA JA AUTOJEN PÄÄSTÖT

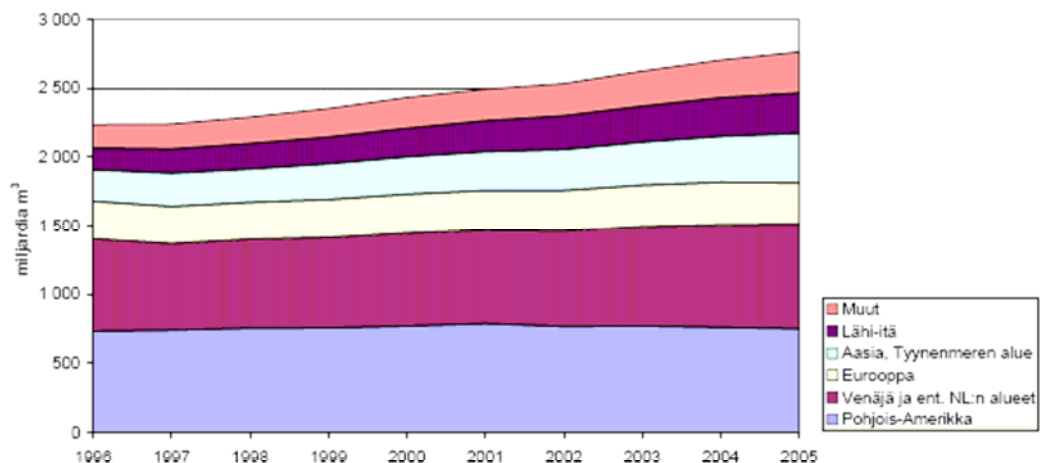
Autojen määrä maailmassa lisääntyy koko ajan. Suurista maista esimerkiksi Kiina on vasta löytämässä autoilun salat, ja siten autojen kokonaismäärä tulee lisääntymään vastedes. Autojen kokonaislukumäärä on tällä hetkellä noin 800 miljoonaa ja määrä jakautuu maanosiin seuraavasti /8/:

- EU 243 miljoonaa (25 maata)
- USA 231 miljoonaa
- Japani 50 miljoonaa
- Venäjä 28 miljoonaa
- Kiina 16 miljoonaa



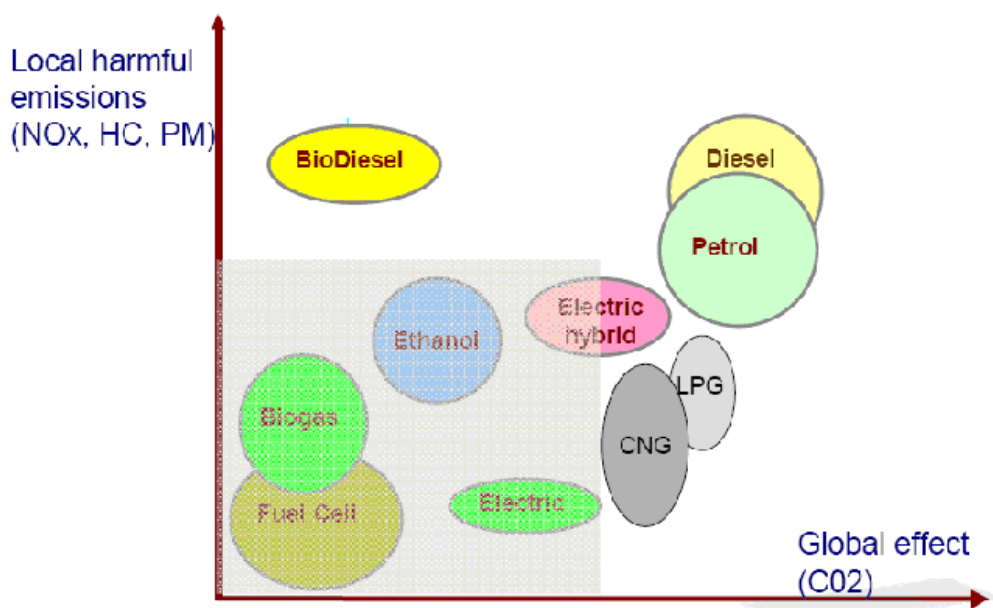
Kuvat 1 ja 2 Autokantaa /8/

Autokanta on varsin iäkstä ja runsaasti luontoa saastuttavaa. EU:lla on kuitenkin näiden lisäksi muitakin syitä yrityksessä siirtyä öljyn käytöstä polttoaineen valmistuksessa suoraan maakaasuun. EU:n alueella nimittäin on luonnostaan huomattavasti enemmän maakaasua kuin öljyä. Alla oleva kuva 3 esittää maakaasun tuotannon suuruuden eri puolilla maailmaa. Kuten alla olevasta kuvasta (kuva 3) näkyy, maakaasun käyttöön siirryttäessä EU:n alueella on noin kolmannes Venäjän ja Pohjois-Amerikan vastaavasta maakaasun tuotannosta. Lisäksi EU:n alueen maakaasun käyttö ei ole riippuvainen Lähi-idän tuotannosta.



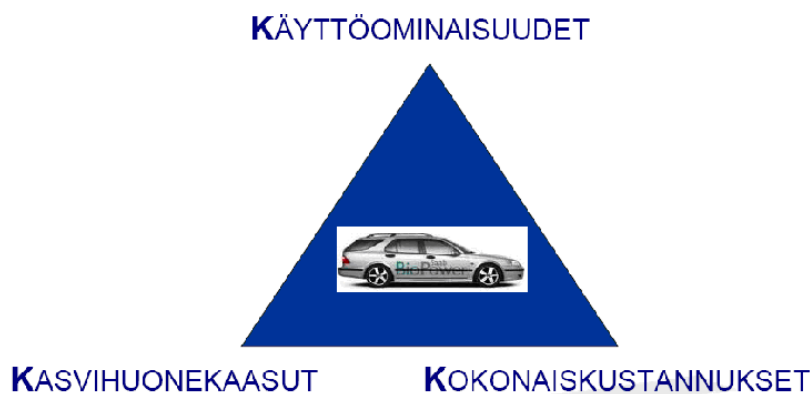
Kuva 3 Kuvaaaja maakaasun tuotannosta maailmassa /10/

3 MOOTTORITEKNIIKAN VAATIMUKSET



Kuva 4 Eri polttoaineiden ympäristöä säästävää vaikutus /8/

Yläpuolella olevassa kuvassa (kuva 4) on esitettyinä polttoainevaihtoehtoja, joilla nykyään ja mahdollisesti tulevaisuudessa autot liikkuvat. Harmaaseen laatikkoon ovat päässeet ne polttoaineet, joilla päästään tulevaisuudessa vaadittavien päästörajojen sisäpuolelle. Tässä työssä mukana olevat CNG ja LPG ovat enemmän ympäristöä säästäviä kuin bensiini. Sähköhybridillä ja biokaasulla päästään jo huomattavasti pidemmälle päästöjen hallinnassa vastedes. Harmaan laatikon sisällä onkin toteutuksia, joiden hinta tällä hetkellä, esimerkiksi bensiinimoottorilla varustetun auton tuotantohintoihin nähden, on moninkertainen. Uutta polttoainetyyppiä käytävällä moottorilla varustetun auton markkinoille tuominen vaatii siis seuraavassa kuvassa (kuva 5) olevan kolmion saamista tasapainoon kaikilta osiltaan.



Kuva 5 Hybridiauton tasapainokolmio /8/

Bensiinimoottoria on viime vuosina kehitetty nopeaa vauhtia ja kehitetään yhä, jotta sen elinkaari pidentyisi. Kun säänneltyjä päästöjä katsotaan, voidaan todeta, että bensiiniautot ovat erittäin puhtaita. Erityisesti pienet ja vähän polttoainetta kuluttavat autot luetaan joissakin maissa jopa ympäristöä säästäviksi.

Tekninen kehitys tuo bensiinimoottoreihin (myös halvempiin luokkiin) muuttuvan venttiilien ajoituksen, ahtamisen ja polttoaineen suoraruiskutuksen. Nämä seikat mahdollistavat bensiinimoottorille entistä pidemmän elinkaaren.

Vähäpäästöisyyden ja energiatehokkuuden aikaansaamiseksi on tarkasteltava asiaa vielä laajemmin ja keskittyttävä edelleen moottoritekniikan parantamisen lisäksi seuraaviin asioihin /9/:

- pakokaasujen puhdistustekniikan parantaminen
- polttoaineen laadun parantaminen
- vähän hiiltä sisältävien polttoaineiden käyttöönotto
- voimalinjaratkaisujen kehittäminen
- hybriditekniikan käytön lisääminen
- ajoneuvojen painon vähentäminen ja aerodynamiikan parantaminen
- rengastekniikan avulla vierintävastuksen vähentäminen

4 HYBRIDIAUTOJEN YLEISTYMINEN

Hybridiautolla tässä työssä tarkoitetaan henkilöautoa joka on varustettu bensiinimoottorilla ja moottoriin on asennettu lisälaitteisto, jolla voidaan hyödyntää vaihtoehtoisia polttoainetta bensiinikäytön lisäksi. Yleisimmät vaihtoehtoiset polttoaineet ovat maakaasu, nestekaasu, biokaasu ja sähkö.

Hybridiautot yleistyvät maailmassa nopeasti. Suomessa vastaavaa kehitystä ei vielä ole tapahtunut, koska hybridiautoihin kohdistuu myöskin kallis autoverotus ja kaasun jakeluverkoston keskeneräisyys. Hybridien suhteellinen osuus maailman autokannasta on kuitenkin pieni. Hybriditekniikkaan siirtyminen kiinnostaa, koska se ei vaadi suuria muutoksia infrastruktuuriin. Hybridit säästävät keskimäärin 30% polttoainekuluissa ja päästöt laskevat samassa suhteessa, hiukkaspäästöt voivat laskea enemmänkin moottorin entistä tasaisemman käynnin ansiosta.

Seuraavassa kuvassa (kuva 6) on esitetty eri automerkkien bensiinimoottoriin pohjautuvien hybridimallien sekä maakaasuautojen kirjoa. Joukkoon mielestäni kuuluu Toyota Prius, vaikkakin se voidaan todeta voimalinjaberustaiseksi

hybridiksi. Siinäkin kuitenkin on bensiinimoottori, johon on asennettu lisälaitteisto, jolla hyödynnetään vaihtoehtoista ”polttoainetta”.

TARJOLLA OLEVAT HENKILÖAUTOT

- ◆ Citroen C3
- ◆ Fiat Doblo
- ◆ Fiat Multipla
- ◆ Fiat Punto
- ◆ FordFocus C-Max
- ◆ Mercedes-Benz E 200 NGT
- ◆ Opel Combo
- ◆ Opel Zafira
- ◆ Volkswagen Caddy
- ◆ Volkswagen Touran
- ◆ Volvo S60
- ◆ Volvo V70

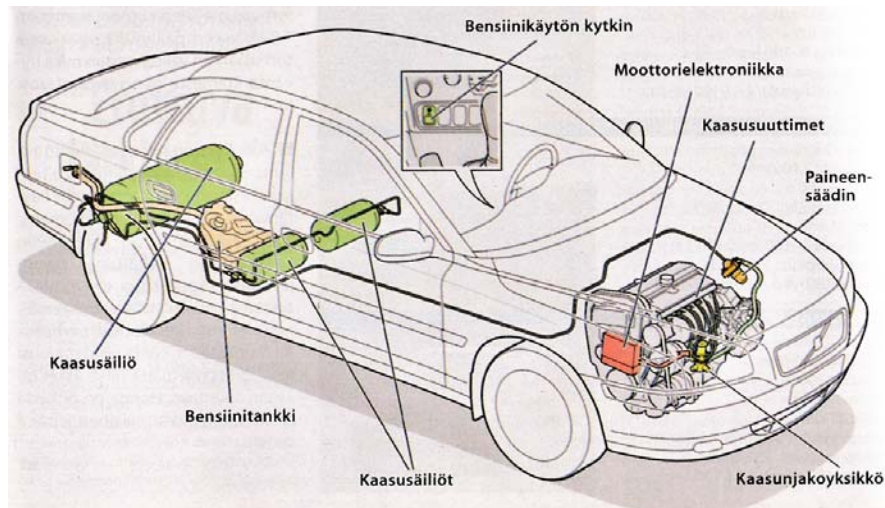


Kuva 6 Markkinoilla olevia hybridi- ja maakaasumalleja /8/

Kuten yllä olevasta kuvasta (kuva 6) näkyy, ajoneuvovalmistajat panostavat voimakkaasti hybriditekniikan kehittämiseen. Kaikkiin ajoneuvoryhmiin on saatavilla hybridiversioita, mutta mallivalikoima on vielä suppea. Hybridien kehitys ja mahdollisuudet on huomattu myös akkusähköautojen valmistajapiireissä ja näiden autojen tarjonta on tyrehtynyt kysynnän vähenemisen myötä. Liitteissä sivulla yksi on hahmoteltu aikajana, jossa on saavutettuja ja tulevaisuuden merkkipaaluja moottoritekniikoiden osalta (liite 1)

5 YLEISKUVAUS ESITELTÄVISTÄ HYBRIDITEKNIKOISTA

5.1 Volvon Bi-fuel-järjestelmä



Kuva 7 Yleiskuva Volvon Bi-fuel-hybridijärjestelmästä /2/

Edellisen sivun kuvassa (kuva 7) on esitetty pääpiirteissään komponentit, jotka kuuluvat lisälaitteistoon, joka käyttää vaihtoehtoista polttoainetta.

Volvo käyttää hybriditekniikassa merkintää Bi-fuel ilmaisemaan ajoneuvoa, jossa on kaksi erillistä polttoainejärjestelmää ja jossa voidaan käyttää joko vaihtoehtoista tai tavanomaista polttoainetta.

Volvon Bi-fuel-autoissa voidaan käyttää siis kaasua tai bensiiniä. Haluttu vaihtoehto valitaan ohjaamossa olevalla vaihtokytkimellä. Volvon Bi-fuel-malleissa on kaksiosainen polttoainesäiliö, toinen metaanille ja toinen varapolttoaineena olevalle bensiinille.

Volvon valmistamissa autoissa on kahta erilaista kaasujärjestelmää. Toisessa järjestelmässä käytetään LPG:tä ja toisessa CNG:tä. Näistä kaasuista ja niiden ominaisuuksista kerrotaan vastedes tarkemmin.

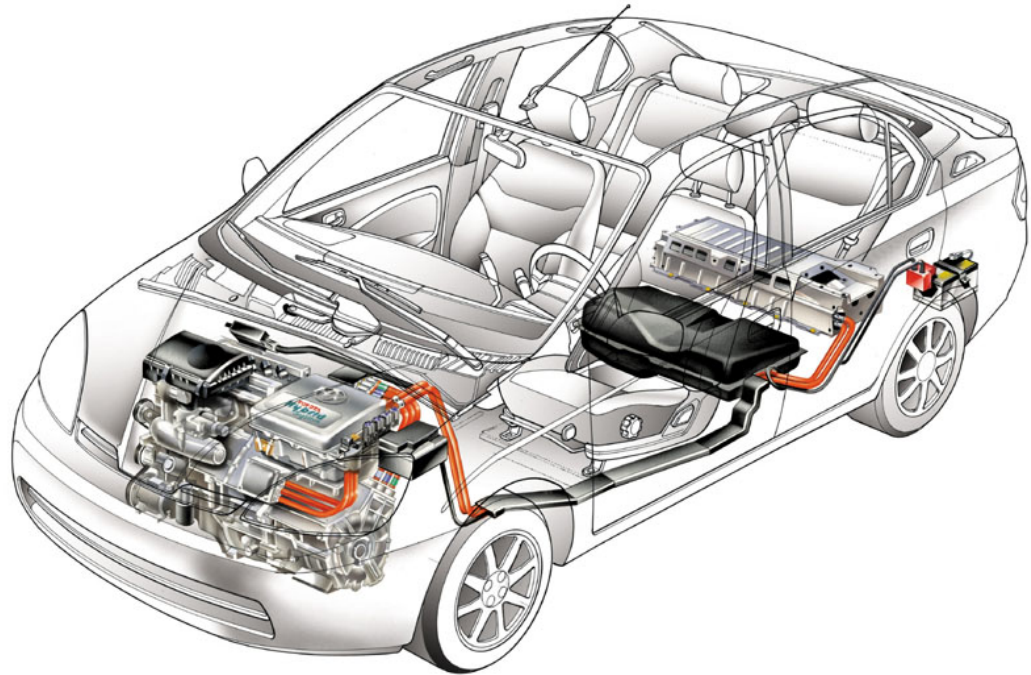
Toimintasäde ja taloudellisuus /14/

Täydellä tankilla metaania voi ajaa noin 250-300 km (kaasun tyypin ja laadun mukaan), ja bensiinitankkiin mahtuu 29 l ja se antaa noin 300-350 km:n ajomatkan. Kylmä moottori käynnistyy aina vain bensiinillä ja järjestelmä täyttää ympäristövaatimukset EURO 2005 tai EURO4.

Moottori siirtyy automaattisesti bensiiniin, jos kaasu loppuu ajon aikana, ja itse voi vaihtaa polttoaineesta toiseen, milloin vain haluaa.

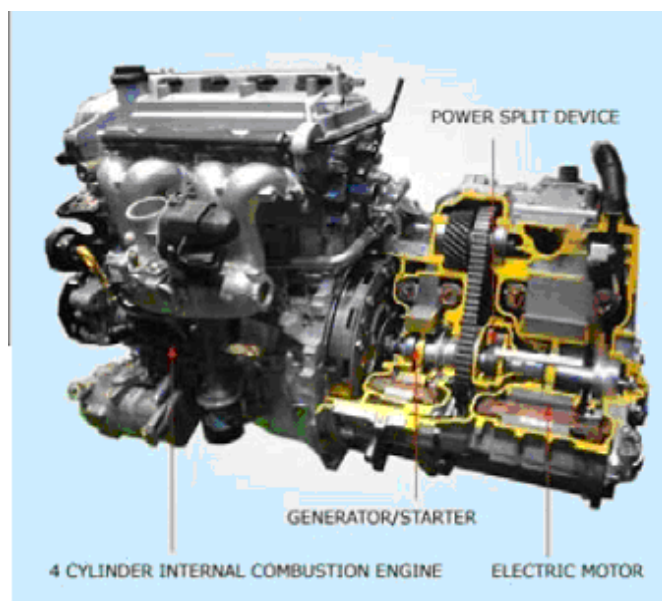
Perinteiseen autoon verrattuna Volvo Bi-fuel voi auttaa vähentämään auton käytön kokonaiskustannuksia, koska useimmissa Euroopan maissa metaanin hinta on 10-60% bensiinin hinnasta. Erot maiden välillä johtuvat pääosin verotuksen eroista, mutta myös ennen veroja lasketussa hinnassa saattaa olla paikallisia vaihteluita.

5.2 Toyota Prius (Hybrid Synergy Drive)



Kuva 8 Leikkauskuva Toyota Prius hybridi-autosta /17/

Toyotan hybridimalli yllä olevassa kuvassa (kuva 8) perustuu bensiinimoottoriin, johon on kytketty erillinen voimanjakoyksikkö ja sähkömoottori. Mallia myydäänkin hybridinä, joka toimii bensiinimoottorin rinnalla eri ajotilanteiden mukaan. Tässä hybridissä paikaltaan liikkeellelähtö ja alhaisilla nopeuksilla ajaminen tapahtuu ainoastaan sähkömoottorin turvin.

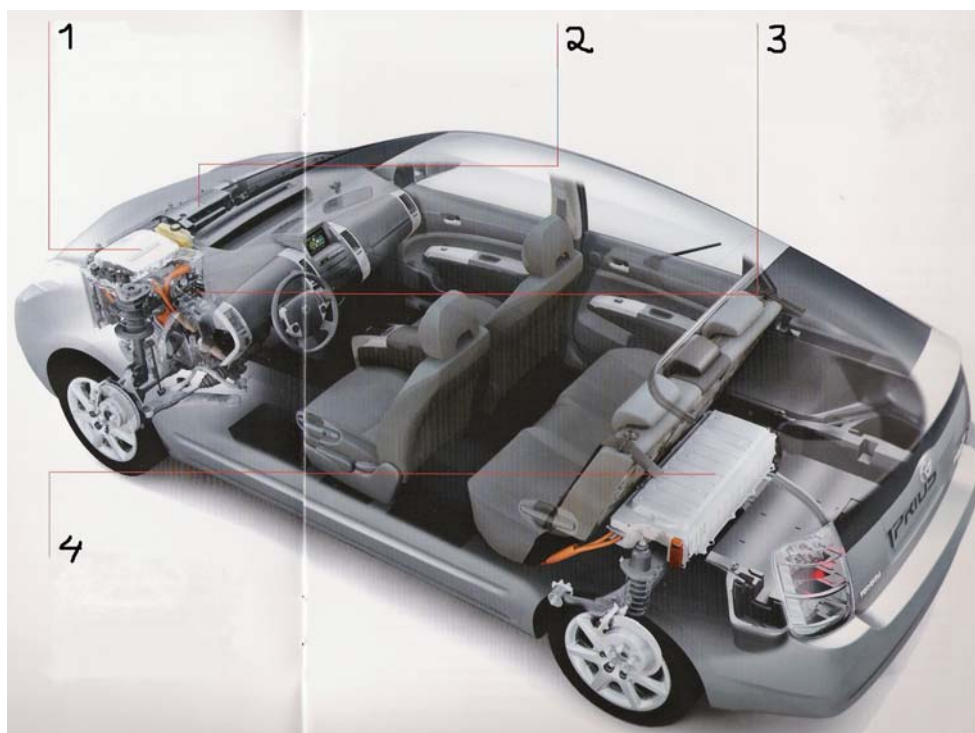


Kuva 9. Bensiinimoottori ja leikkauskuva lisälaitteistosta /8/

Leikkauskuvasta 9 nähdään voimanjakolaitteen, sähkömoottorin ja startin/generaattorin sijainnit. Koko lisälaitteisto on sijoitettu bensiinimoottorin jatkeeksi.

Bensiinimoottori, sähkömoottori ja generaattori ovat kytketty toisiinsa planeettapyörästäön avulla, joka jakaa polttomoottorilta tulevan voiman generaattorin ja vetävien pyörien välillä. Planeettapyörästäö toimii myös portaattomana vaihteistona polttomoottorille.

Seuraavana on esitelty hybridijärjestelmän komponentit ja perustoiminta.



Kuva 10 Yleiskuva Toyota Priuksen hybriditekniikasta /1/

1. Taajuusmuuttaja /1/

Taajuusmuuttaja ohjaa sähkövirtaa akulle ja akulta sekä sovittaa sähkömoottorin jännitteen silmällä pitäen suurinta järjestelmän hyötysuhdetta.

Sama laite huolehtii myös virransyötöstä ilmastointilaitteelle silloinkin, kun bensiinimoottori ei ole käynnissä.

2. Bensiinimoottori /1/

Toyota Prius on varustettu 1,5 VVT-i-bensiinimoottorilla, joka välittää voimansa elektronisesti ohjatun portaattoman vaihteiston (ECVT) kautta. Tämä toteutus mahdollistaa korkeajänniteakkua lataavan generaattorin samanaikaisen toiminnan.

3. Sähkömoottori ja generaattori /1/

Tehokkaalla sähkömoottorilla, sen toimiessa yksin, saadaan optimaalinen hyötysuhde, nollapäästöt ja miltei äänetön toiminta. Sähkömoottori avustaa kiihdytyksissä bensiinimoottoria ja hidastettaessa se toimii generaattorina keräten auton liike-energiaa talteen ja lataamalla akkua.

4. Korkeajänniteakku /1/

Akkujen hienoinen kehitys on tuottanut kevyen korkeajänniteakun, joka on mahdollista kokonsa puolesta sijoittaa lattian alle. Tällaisen akun tehon anto- ja vastaanottokyky ovat normaalia suuremmat. Käytön aikana korkeajänniteakkua lataa joko bensiinimoottorin käyttämä generaattori tai jarrutusenergian talteenottojärjestelmä.

6 POLTTOAINEET

6.1 Kaasut, yleistä

Kaasuilla on niiden erilaisen kemiallisen koostumuksen vuoksi erilaisia ominaisuuksia. Erilaisten kaasujen käyttäytyminen riippuu siis tilavuudesta, lämpötilasta ja paineesta. Nämä tekijät ratkaisevat esimerkiksi kaasun muodonmuutoshetken, ja siten kaasut käyttäytyvät seuraavan yhtälön (1) mukaisesti:

$$\text{Ideaalikaasun tilanyhtälö: } \frac{p \cdot V}{T} = \text{vakio} \quad (\text{yhtälö 1})$$

p= paine	(Pa)
V= tilavuus	(m ³)
T= absoluuttinen lämpötila	(K)

Painetta lisättäessä \Rightarrow kaasun tilavuus pienenee, lämpötila nousee ja kaasu muuttuu tietyssä paineessa nestemäiseksi, ts. nesteytyy.

Painetta vähennettäessä \Rightarrow tilavuus lisääntyy, lämpötila laskee ja neste muuttuu tietyssä paineessa kaasuksi.

Lämpötilaa nostettaessa \Rightarrow tilavuus tai paine lisääntyy.

Lämpötilaa laskettaessa \Rightarrow tilavuus tai paine pienenee.

6.2 Maakaasu eli CNG (Compressed Natural Gas)

Yleistä

Maakaasu on nestemäisiin polttoaineisiin verrattuna kemiallisesti yksinkertainen polttoaine, joka koostuu pääosin metaanista (CH₄), sekä pienistä määristä etaania ja propaania. Maakaasu on mahdollisia hajusteita lukuun ottamatta rikitön, eikä sen saatavuus ole riippuvainen öljynjalostuskapasiteetista. Maakaasun koostumus vaihtelee eri alueilla.

Suomessa käytössä oleva venäläinen kaasu on erittäin puhdasta, sen metaanipitoisuus on yli 98 %, loput 2 % ovat etaania ja typpeä. Myös propaania, hiilidioksidia ja happea on hyvin pieniä pitoisuuksia. Rikkiä Länsi-Siperian maakaasussa ei ole nimeksikään.

Joillakin Keski-Euroopan kaasukentillä metaanipitoisuus saattaa olla vain 80 %:n luokkaa, jolloin loppu kaasusta koostuu raskaammista hiilivedyistä sekä palamattomista typpidioksidista (N₂) ja hiilidioksidista (CO₂).

Maakaasua poltettaessa syntyy hiilidioksidia ja vesihöyryä sekä typenoksideja. Maakaasun ympäristön säästävyyttä lisää maakaasulla saavutettava hyvä hyötysuhde. Maakaasu on ilmaa kevyempää, näkymätöntä, hajutonta ja myrkytöntä.

Maakaasu on myös fossiilinen polttoaine, mutta siinä vedyn osuus suhteessa hiileen on suurin, kun puhutaan polttoaineena käytettävistä nestemäisistä hiilivedyistä. Eli vetyatomeja on neljä yhtä hiiliatomia kohden, kun normaalisti niitä on kahden suhde yhteen. Tämä on syy siihen miksi maakaasua poltettaessa syntyy vähemmän hiilidioksidia, kuin muista perinteisistä polttoaineista.

Maakaasun käyttö aiheuttaa noin 25% alhaisemmat hiilidioksidipäästöt kuin bensiinin käyttö.

Maakaasu katsotaan turvalliseksi polttoaineeksi ja tavallisesti maakaasuautojen käyttämistä suljetuissa tiloissa ei rajoiteta. CNG on keveämpää kuin ilma, joten ulkoilmaan virrannut CNG kohoaa ylöspäin. CNG voi kuitenkin syttyä, jos sitä vuotaa tuulettamattomiin tiloihin.



Kuva 11 Maakerrokset /16/

Maakaasun valmistus

Maakaasu saadaan yleisimmin talteen kaasukentiltä lähes valmiina tuotteena, joten kuivaus- ja puhdistustoimia lukuun ottamatta varsinaista valmistusta (jalostusta) ei tarvita. Maakaasua esiintyy maankuoressa (kuva 11) samankaltaisissa tuotantolähteissä kuin öljyäkin.

Maakaasun etsinnässä käytetään gravimetrisiä, magneettisia ja seismisiä menetelmiä, joilla löydetty esiintymät varmistetaan koeporauksin.

Länsi-Siperiassa, josta maakaasu tuodaan Suomeen, sijaitsevat maailman suurimmat kaasuesiintymät.

Maakaasun jakelu

Maakaasu voidaan nesteyttää noin -162 °C :n lämpötilassa ja siirtää tässä muodossa sellaisille alueille, joihin putkistoa ei ole vedetty. Tämä on kaasumaisen kaasun käyttöä kalliimpi tapa, mutta silti maailmanlaajuisesti käytetystä maakaasusta yli neljännes on siirretty käyttöpaikalleen tällä tavoin. Esim. Japani toimii täysin nesteytettyinä siirretyn maakaasun varassa.

Tankkaus ja säilytys autossa

Maakaasu voidaan tankata ajoneuvoon joko paineistettuna (CNG, compressed natural gas) tai nesteytettyinä (LNG, liquefied natural gas). Näistä CNG-muoto on selvästi yleisempi. Suurin painetaso autojen maakaasusäiliöissä on luokkaa 200 baaria 15 °C lämpötilassa, mikä asettaa suuret lujuusvaatimukset säiliöille. Säiliöt ovat siis huomattavasti suuremmat, painavammat ja kalliimmat kuin nestemäisen polttoaineen säiliöt.

Maakaasun energiasisältö on 200 baarin paineessakin tilavuusyksikköä kohti selvästi pienempi kuin nestemäisillä polttoaineilla, esim. vain noin neljännes bensiinin vastaavasta. Tämän vuoksi yhdellä tankkauksella päästävä matka lyhenee vastaavassa suhteessa.

CNG:n tankkaus vaatii aina kompressorin, joka paineistaa kaasun halutulle tasolle.

6.3 Biokaasu

Yleistä

Biokaasua muodostuu erilaisten mikrobien hajottaessa orgaanisista aineista hapettomissa olosuhteissa ja se sisältää pääosin metaania ja hiilidioksidia. Sen metaanipitoisuus vaihtelee tuotantotavan mukaan, joita ovat jätevesilietteen käsittelylaitokset, orgaanisten aineiden mädättämöt ja kaatopaikkakaasun talteenotto.

Mädättämöjen ja jätevesilaitosten tuotoksissa metaanipitoisuus on noin 65%, kun kaatopaikkakaasun vastaava arvo on noin 50%. Biokaasun talteenotto kaatopaikoilta tapahtuu peittämällä osa kaatopaikasta tiiviillä kannella ja imemällä alipaineella muodostunut biokaasu talteen. Menetelmän takia raaka kaatopaikka-biokaasu sisältää enemmän typpeä ja happea kuin muilla menetelmillä talteen otettu. Lisäksi kaatopaikkakaasu vaatii muita paremmat puhdistusmenetelmät ennen kuin sitä voi tankata autoon, sillä joukossa on kloorin ja fluorin kaltaisia epäpuhtauksia.

Biokaasu on viime aikoina otettu esille potentiaalisena liikennepolttoaineena. Perusteena on lähinnä uusiutuvan polttoaineen edullisuus ilmakehän CO₂-tasapainon kannalta. Biokaasun CO₂-tase on siis maakaasun vastaavaa arvoa alhaisempi. Ajoneuvon kannalta katsottuna maakaasua ja puhdistettua biokaasua voidaan pitää yhdenveroisina.

Valmistus

Isoin biokaasun tuottaja Pohjoismaissa on kaatopaikka, YTV:n Ämmässuo, joka tuottaa noin 40 MW suuruisen biokaasutehon. Konkreettisempaan muotoon muutettuna lukua voidaan verrata Helsingin 90 maakaasubussiin, joiden polttoaineteho on 6 MW eli vain 15% Ämmässuon tuottamasta kaasumäärästä.

Ominaisuudet ja tankkaus autoon

Biokaasua, joka on riittävän puhtaaksi jalostettu, koskevat samat tiedot kuin maakaasuakin.

Biokaasua voidaan tankata ajoneuvoon kuten maakaasua.

Taulukot 1 ja 2 Biokaasujen tyypillisiä koostumuksia /15/

Biokaasureaktorikaasun koostumus		Kaatopaikkakaasun koostumus	
Aine	%	Aine	Pitoisuus
Metaani, CH ₄	55-75	Metaani, CH ₄	54 %
Hiilidioksidi, CO ₂	25-45	Hiilidioksidi, CO ₂	42 %
Hiilimonoksidi, CO	0-0,3	Happi, O ₂	0,8 %
Typpi, N ₂	1-5	Typpi, N ₂	3,1 %
Vety, H ₂	0-3	Kloori (summa Cl ₂)	22 mg/ m ³
Rikkivety, H ₂ S	0,1-0,5	Fluori (summa F ₂)	5 mg/ m ³
Happi, O ₂	jälkiä	Rikkivety, H ₂ S	88 mg/m ³

Edellisissä taulukoissa 1 ja 2 on esitetty biokaasujen tyypilliset koostumukset ja aineiden prosenttiosuuksia eri menetelmillä talteen otettuina.

6.4 Maakaasun ja biokaasun soveltuvuus moottoripolttoaineeksi

Maakaasu muodostaa helposti homogeenisen seoksen ilman kanssa.

CNG voidaan sytyttää vain sekoitettuna suhteessa 4-15 tilavuusprosenttia kaasua ilmaan. Yksinkertaisen kemiallisen rakenteensa ansiosta se palaa puhtaasti ja nopeamatta. Näiden seikkojen perusteella maakaasu soveltuu hyvin otto-moottoripolttoaineeksi. Dieselprosessiin se ei sovi hyvän puristuskestävyytensä vuoksi. Useimmissa tapauksissa kannattaakin kaasuun siirryttäessä muuttaa dieselmoottori ottoperiaatteella toimivaksi.

Maakaasulla on korkea oktaaniluku (n. 130), joka mahdollistaa bensiinimoottoria korkeamman puristussuhteen käytön. Tämä nostaa moottorin hyötysuhdetta.

Hyötysuhteeltaan maakaasumoottorit asettuvat tyypillisesti bensiini- ja dieselmoottorien välimaastoon. Niiden polttoaineenkulutus on polttoaineen energiasisällön mukaan laskettuna yleensä n. 10 % alhaisempi kuin bensiinimoottoreilla ja 10 – 40 % korkeampi kuin dieselmoottoreilla.

Varsinaista automoottorikäyttöä varten biokaasu on puhdistettava ja sen metaanipitoisuus on nostettava yli 90%:n tasolle. Tällöin puhdistetun biokaasun lämpöarvo on noin 9,8/1000 Nm³, eli noin 1 Nm³ biokaasua (metaani) vastaa 1 litraa dieselöljyä.

Riittävän puhdasta biokaasua voidaan käyttää kuten maakaasua. Hyötysuhteeltaan biokaasumoottorit vastaavat maakaasumoottoreita.

Suunniteltaessa moottori vain maakaasukäyttöön, voidaan moottori tehdä kevyemmäksi kuin nykyiset dieselmoottoreihin perustuvat kaasumoottorit, koska kaasumoottorin mekaanisen lujouden ei tarvitse olla dieselin tasoa. Lisäksi voidaan kaasumoottorin suurempi jäähdytystarve ottaa huomioon jo alusta lähtien.

6.5 Maakaasun ja biokaasun erot

Kemialliselta koostumukseltaan molemmat ovat samaa ainetta, metaania (CH₄). Ajoneuvokäyttöä varten biokaasu täytyy jalostaa, eli raakakaasu puhdistetaan epäpuhtauksista ja sen metaanipitoisuutta nostetaan. Maakaasukäyttöiset autot voivat käyttää jalostettua biokaasua ja päinvastoin.

Maakaasu on syntynyt vuosituhansien aikana orgaanisen aineksen hajotessa hapettomissa olosuhteissa, maankuoren sisällä.

Biokaasu taas tuotetaan biojätteistä, esimerkiksi jäteveden puhdistamoilla tai maatiloilla karjan lannasta. Biokaasua voidaan ottaa talteen myös kaatopaikoilta, mutta sekajätteestä talteen otetun kaasun puhdistaminen käyttökelpoiseksi auton moottoria varten on monimutkainen ja kallis prosessi.

6.6 Nestekaasu eli LPG (Liquified Petroleum Gas)

Ominaisuudet

Nestekaasun kansainvälinen lyhenne on LPG (Liquefied Petroleum Gas).

Nestekaasu on nestemäisiin polttoaineisiin verrattuna kemiallisesti yksinkertainen polttoaine, joka on pääosin propaania (C₃H₈) ja butaania (C₄H₁₀). Säänneltyjen päästöjen osalta maa- ja nestekaasu ovat suurin piirtein samanveroiset, mutta maakaasu päihittää nestekaasun CO₂-taseellaan. Nestekaasu ei siis tarjoa yhtä suuria päästötaseen tai CO₂-taseen etuja bensiiniin nähden kuin maakaasu.

LPG höyrystyy jo alle 7 barin paineessa ja se on rajallinen luonnonvara.

LPG on painavampaa kuin ilma, joten ulkoilmaan virrannut LPG laskeutuu alas.

LPG voi syttyä, jos sitä vuotaa tuulettamattomiin tiloihin.

Valmistus ja jakelu

Noin puolet maapallolla tuotetusta nestekaasusta otetaan talteen suoraan öljy- ja kaasukentiltä, jolloin varsinaista valmistusta (jalostusta) ei tarvita. Toinen puoli

tuotetusta nestekaasusta syntyy raakaöljyn jalostuksessa suoratislaamalla tai jälkikäsittelyssä, erilaisissa krakkausprosesseissa.

Nestekaasua voidaan siirtää tarkoitusta varten valmistetuissa painesäiliöissä (< 25 bar) säiliölaivoilla, rautateillä ja maantiekuljetuksena.

Tankkaus ja varastointi autossa

LPG säilytetään autossa tiivistettynä kaasusäiliössä ja paine on pysyvästi 8 baaria 15°C:n lämpötilassa.

Nestekaasu tankataan ajoneuvoon varastosäiliöstä. Tankkaukseen kuluva aika on sama tai vain hieman pitempi kuin tankattaessa bensiiniä tai dieseliä. Painetaso autojen säiliöissä riippuu lämpötilasta ja kaasun koostumuksesta, joista kumpikin vaikuttaa kaasun höyrynpaineeseen. Käytännössä painealue on 5 – 15 baaria säiliöiden turvaventtiilin ollessa säädettyinä 25 baariin. Painesäiliörakenteen vuoksi säiliöt ovat painavampia ja kalliimpia ja vievät jonkin verran enemmän tilaa kuin bensiini- tai dieselpolttoainesäiliöt.

Nestekaasun energiasisältö tilavuusyksikköä kohti on pienempi kuin bensiinillä ja dieselillä, esimerkiksi noin 70 % dieselin vastaavasta, eli tankkauksella päästävä matka lyhenee vastaavassa suhteessa. Lisäksi kaasumootorin ottoprosessin hyötysuhde on dieseliä huonompi, mikä myös kasvattaa tarvittavaa säiliökapasiteettia. Dieselisiin verrattuna nestekaasusäiliöiden tilavuuden onkin oltava noin kaksinkertainen. Kaasusäiliöt ovat myös selvästi painavampia kuin dieseltankit, koska niiden on oltava paineenkestäviä. Vaadittava painetaso on tosin vain noin kymmenesosa maakaasun vastaavasta.

Yksinkertaisimmassa muodossaan nestekaasun tankkausasema on siirrettävä ”kontti”, jossa on varastosäiliö, pumppu, mittari ja letku.

6.7 Nestekaasun soveltuvuus moottoripolttoaineeksi

Nestekaasu muodostaa helposti homogeenisen seoksen ilman kanssa kuten maakaasukin. LPG voidaan sytyttää vain sekoitettuna suhteessa 1-15 tilavuusprosenttia kaasua ilmaan.

Suhteellisen yksinkertaisen kemiallisen rakenteensa ansiosta se palaa puhtaasti ja soveltuu hyvin ottomootoripolttoaineeksi, mutta hyvän puristuskestävyytensä takia nestekaasu ei sovi dieselprosessiin.

Muutettaessa bensiinimoottori vain nestekaasukäyttöiseksi selvittää yleensä melko vähäisin muutostöin. Ajoneuvon koko polttoainejärjestelmä on korvattava kaasulaitteistolla. Puristussuhde yleensä säilytetään nakutusvaaran vuoksi samana kuin bensiiniversiossa.

Moottoreissa käytettävän nestekaasun tulisi sisältää mahdollisimman pieniä määriä olefiineiksi kutsuttuja hiilivetyjä (esim. propeeni), koska niillä on pieni oktaaniluku. Lisäksi olefiinit karstoittavat moottoria.

6.8 Bensiini

Bensiiniä saadaan jalostettua öljystä, joka kuuluu uusiutumattomiin luonnonvaroihin. Bensiini sisältää satoja erilaisia 4...12 hiiliatomia sisältäviä hiilivetyjä, joiden kiehumispisteet ovat yleensä välillä 30...200 °C (nk. tislausalue). Yleisesti bensiini sisältää 85...86 paino-% hiiltä ja 14...15 paino-% vetyä. Hiilen ja vedyn osuudet vaihtelevat jonkin verran, erityisesti jos valmistuksessa käytetään happea sisältäviä ns. oksygenaatteja, joista tunnetuin on MTBE (metyyli-*tert*-butyylietteri), jota käytetään lyijyn asemesta oktaaniluvun nostamiseen.

Ominaisuudet

Bensiini ”vanhenee” pidempiaikaisessa säilytyksessä ja sen joukkoon tarvitsee kaataa lisääineistusta, jotta se säilyisi pidempään. Lisäksi bensiini on herkkää syttymään ja varsinkin bensiinin höyrystymisen kanssa pitää olla varovainen. Bensiinin leimahduspiste on alle 0 °C. Leimahduspiste on alin lämpötila, jossa haihtunut höyry saattaa syttyä kipinästä.

Bensiini voidaan sytyttää vain sekoitettuna suhteessa 0,5-8 tilavuusprosenttia kaasua ilmaan.

Bensiinin tärkeimpiä ominaisuuksia on puristuskestävyys, jota mitataan oktaaniluvulla. Riittävä puristuskestävyys estää moottorin ns. nakutuksen. Yleisesti ottaen, mitä suurempi puristussuhde moottorissa on, sitä suurempi oktaaniluku bensiiniltä vaaditaan. Moottorille ilmoitettua vaatimusta korkeamman oktaaniluvun käytöstä ei ole haittaa, mutta ei hyötyäkään, ellei moottorissa ole nakutuksen tunnistinta. Bensiinin tiheys on noin 0.75 kg/l ja lämpöarvo noin 43 MJ/kg (= n. 9 kWh/l). Tyypillisesti tiheyden ja lämpöarvon vaihteluväli on pieni eri tavoilla valmistettujen bensiinien välillä.

Valmistus

Raakaöljy tislataan erilaisiin jakeisiin, joista minkään ominaisuudet eivät riitä bensiiniksi nykyisiin moottoreihin. Lisäksi tarvitaan lukuisia muita prosesseja, joilla tislatuista jakeista saadaan bensiiniin sopivia komponentteja. Kaikissa prosesseissa tapahtuu monia rinnakkaisia reaktioita, ja tuotteet vaihtelevat monien tekijöiden summana.

Yksi tärkeimpiä jalostusprosesseja on krakkkaus, jolla pilkotaan suurempia hiilivety-molekyylejä pienemmiksi. Krakkauksen avulla vähemmän arvokkaista tislauks-jakeista saadaan kallisarvoisia bensiini- ja dieselkomponentteja.

Taulukko 3 Ominaisarvoja /14/

Ominaisuudet	CNG	LPG	Bensiini
Tiheys [kg/m^3]	$\approx 0,8$	$\approx 2,3$	≈ 750
Energiasisältö [MJ/kg]	47,7	46,1	42,7

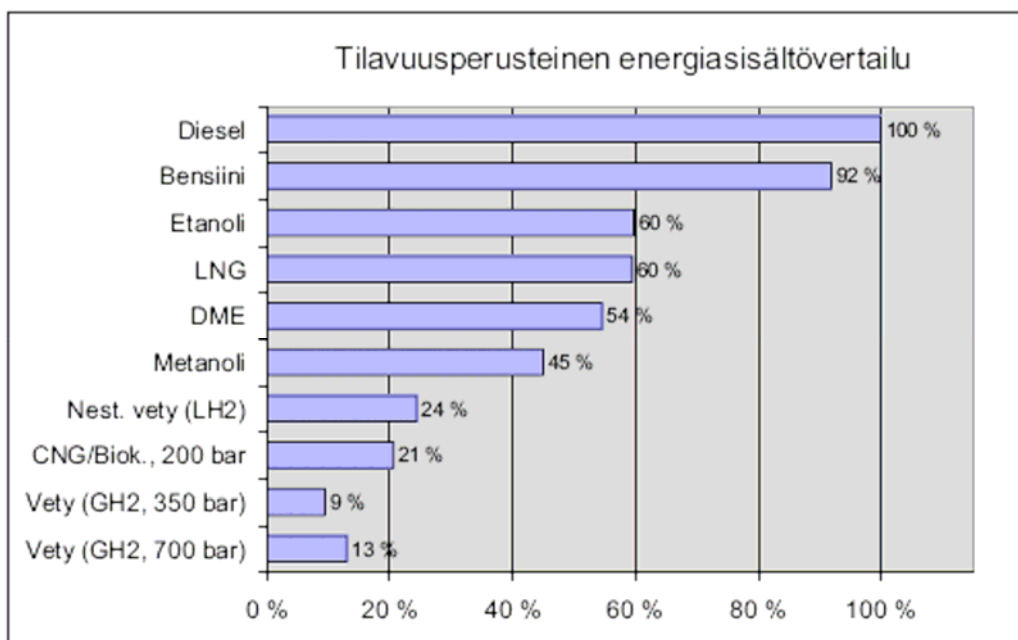
Taulukosta 3 nähdään, että bensiinin energiasisältö on huonompi kuin vaihtoehtoisilla polttoaineilla. Mutta tiheydessä bensiini on lyömätön tässä vertailussa.

6.9 Kaasun palaminen /6/

Seuraavat asiat vaikuttavat kaasujen toimintaan moottorikäytössä:

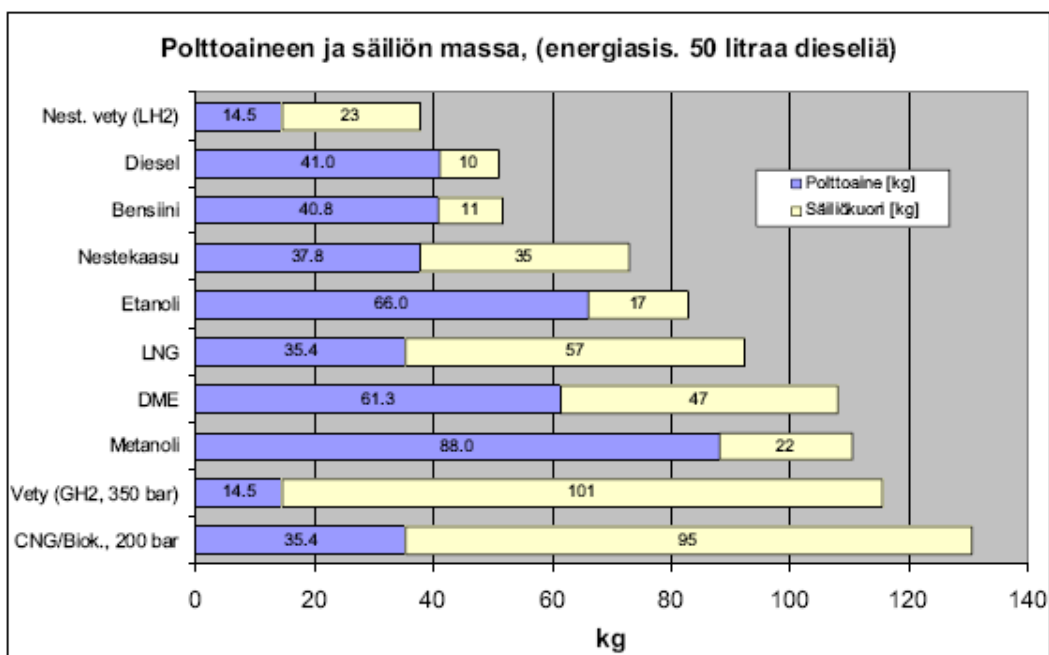
- energiasisältö suhteessa yksikkötilavuuteen
- energiasisältö suhteessa yksikköpainoon
- seoksen energiasisältö suhteessa yksikkötilavuuteen
- Wobbe-indeksi
- itsesyttymislämpötila
- puristuskestävyys
- palamisrajat

Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 12 on esitetty eri polttoaineiden suhteellinen energiasisältö tilavuuteen verrattuna. Maakaasun energiatiheys jää noin 20% bensiinin vastaavasta arvosta. Nestemäisessä muodossakin (LNG) maakaasun energiatiheys tilavuuteen nähden on vain noin 60-70% tavanomaisiin polttoaineisiin nähden.



Kuva 12 Tilavuusperusteinen energiasisältöjen vertailu /15/

Alla olevassa kuvassa 13 on tehty vertailu, joka perustuu polttoaineen ja sen säiliön massaan. Vertailu kertoo polttoainevarastojen koon ja painon käytettäessä kyseistä polttoainetta ajoneuvossa.



Kuva 13 Polttoaineen ja säiliöiden massat vertailussa /15/

Näistä vertailuista nähdään selkeästi, kuinka paljon parempia ovat raakaöljyjalosteet energiatiheydeltään verrattuna muihin. Ainoastaan nesteytetty vety on dieselöljyä ja bensiiniä kevyempää suhteessa energiasisältöönsä.

Maakaasu (CNG) ja nestekaasu (LPG) sekoittuvat hyvin ilmaan jo ennen imuventtiilin sulkeutumista. Tyypilliset seossuhteet näille polttoaineille ovat:

- CNG 17,2
- LPG 15,6
- bensiini 14,7

(lambda-arvo= 1, lämpötila= 0°C, paine= 101,3 kPa)

Vaihdettaessa polttoainetta bensiinistä nestekaasuun, energiatiheys putoaa stökiometrisellä seoksella 5%. Vastaava pudotus maakaasuun siirryttäessä on noin 10%.

Wobbe-indeksi on maa- ja nestekaasulle seuraavanlaiset:

- CNG 44,47
- LPG 79,2

Wobbe-indeksin laskukaava esitettyä yhtälönä 2.

$$WO_i = H_i \sqrt{\rho_{ilma}/\rho_{kaasu}} \quad (\text{MJ/m}^3) \quad (\text{yhtälö 2})$$

$$H_i = \text{energiasisältö} \quad (\text{MJ/m}^3)$$

$$\rho_{ilma} = \text{ilman tiheys (101,3 kPa, 0°C)} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$\rho_{kaasu} = \text{kaasun tiheys (101,3 kPa, 0°C)} \quad (\text{kg/m}^3)$$

Indeksi ilmaisee kaasujen korvauskykyä toisiinsa. Kaasut joilla on sama indeksi, voidaan korvata toisillaan ilman seossuhteen muutosta. Vaihdettaessa kaasua, muuttuu myös lambda-arvo. Jos moottori on säädetty nestekaasulla siten, että lambda-arvo on 1, niin jos aletaan käyttää järjestelmää maakaasulla niin lambda-arvo voi olla 1,55.

Kaasun vaihdossa muuttuvan lambda-arvon laskentayhtälö.

$$\lambda_{uusi} = WO_{alkuperäinen} / WO_{uusi} \cdot \lambda_{alkuperäinen} \quad (\text{yhtälö 3})$$

WO= Wobbe-indeksi

λ = lambda-arvo

Jos polttoainejärjestelmä on varustettu lambda-anturilla niin järjestelmä voi tämän perusteella hieman kompensoida polttoainelaadun vaihtelut. Uusintakalibrointi on kuitenkin tarpeen tällaisessa kaasutyypin muutoksessa.

Ottomoottorissa kaasuseos sytytetään kipinällä ja palamisen tulee olla hallittu läpi palotilan. Palotapahtuman aikana jotkut palamattomat seoksen osat voivat saavuttaa itsesyttymislämpötilan ja liekin etenemisnopeus voi kasvaa äänennopeuden luokkaan. Tämä saattaa tapahtua palamisen loppuvaiheessa, kun loppukaasu on korkeassa paineessa ja lämpötilassa. Loppukaasun suuri energiamäärä vapautuu äkillisessä syttymisessä ja se aiheuttaa korkeita painehuippuja. Nämä paineaallot etenevät äänennopeudella palotilassa ja aiheuttavat ilmiön nimeltä nakuttava palaminen. Syynä siihen voi olla liian korkea puristussuhde käytettävälle polttoaineelle tai moottorin- ja imuilman lämpötilat. Korkea oktaaniluku tarkoittaa korkeaa itsesyttymislämpötilaa. Maakaasulla ja nestekaasulla yleisesti käytetään 13:1 puristussuhdetta. Oktaaniluvut kyseisille kaasuille ovat:

- CNG 120
- LPG yli 100

Laihaseospalaminen on mielenkiintoinen vaihtoehto kaasukäyttöisiin moottoreihin. Pakokaasupäästöistä alenevat typen oksidit, kun käytetään lambda-arvoa välillä 1,5-1,7, stökiometrisen tai vain hieman laihan seoksen sijaan. Syttymisrajat ovat seuraavanlaiset:

- CNG lambda-arvolla 2,0
- LPG lambda-arvolla 1,8
- bensiini lambda-arvolla 1,7

Palonopeus riippuu polttoaineen koostumuksesta, lämpötilasta, paineesta ja seossuhteesta. Käsitellyille polttoaineille yleisesti saavutettavat palonopeudet, hieman rikkaalla seoksella ja laminaarisella palamisella ovat:

- CNG 37 cm/s
- LPG 43 cm/s
- bensiini 38 cm/s

Bensiiniin verrattuna maakaasu palaa hitaammin ja omaa korkeamman laihaseosrajan. Nestekaasu palaa nopeammin kuin bensiini ja sen laihaseosraja sijoittuu maakaasun ja bensiinin väliin.

Suurin palonopeus on melkein identtinen hiiliatomien määrään molekyyllissä, joten tämän mukaan maa- ja nestekaasun palonopeuden tulisi olla sama.

Lähteen 6 mukaan, käytännössä nestekaasu palaa bensiiniä hitaammin moottorikäytössä ja lisäksi on olemassa yhteinen yksimielisyys siitä, että maakaasu

palaa bensiiniä hitaammin. Asia ei kuitenkaan ole näin yksiselitteinen, sillä palamisnopeuteen vaikuttaa myös puristussuhde, ja puristussuhdetta muuttamalla tilanne maakaasun ja bensiinin palamisnopeuksien välillä muuttuu.

Puristussuhdetta voidaan maakaasukäytössä nostaa maakaasun hyvän puristuskestävyyden vuoksi. Bensiinillä on huomattavasti maakaasua heikompi puristuskestävyys ja se estää maakaasun tasoisten puristussuhteiden käytön.

Tarvittava sytytysenergia on normaalisti pienin, kun ollaan lähellä stökiometristä seossuhdetta. Sytytysenergia kasvaa, kun siirrytään laihempaan tai rikkaampaan suuntaan.

Tarvittava sytytysenergia vaihtelee myös polttoainelaadun mukaan seuraavasti:

- CNG 0,30 mJ
- LPG 0,26 mJ
- bensiini 0,25 mJ

Pakokaasujen koostumus muuttuu myös polttoaineen mukaan. Maakaasun ja nestekaasun palaminen tuottaa vähemmän hiilidioksidia ja enemmän vettä kuin bensiinin palaminen. Terminen tehokkuus on ottotyökierrolla alhaisempi kuin dieselyökierrolla. Energian kulutuskin on kipinäsytytyksellä varustetussa maakaasu- ja nestekaasumootoreissa dieselin vastaavaa suuremmat.

Seuraavassa on esitetty henkilöautokäytössä kasvihuonekaasut koko polttoaineketjun matkalta, polttoaineen valmistuksesta loppukäyttöön:

- CNG 230 g/km
- LPG 300 g/km
- bensiini 350 g/km

Yhteenvetona voidaan sanoa, että maa- ja nestekaasu ovat korkealaatuisia polttoaineita jotka soveltuvat hyvin ottomootoriin. Puristuskestävyydet ja laihaseosrajat ovat bensiiniä korkeammat. Suurin saavutettava teho vastaa lähes bensiinillä saavutettavaa arvoa.

Energiatiheys säiliössä on kuitenkin selkeästi alhaisempi, kuin bensiinillä ja dieselillä. Tämä tarkoittaa, että vasta säiliöiden tilavuuden ja massan nostamisella päästään samaan ajomatkaan bensiinin ja dieselin kanssa.

Maa- ja nestekaasujen käyttö voi kuitenkin vähentää päästöjä huomattavasti enemmän kuin bensiinin pääasiallinen käyttö.

Kaasujen dieselkäyttö on kuitenkin yleistä keskinopeissa moottoreissa. Maakaasun käyttö dieselmoottorissa on toteutettu yleensä laihaseos-tyyppisellä ratkaisulla (Wärtsilä). Laihaseospalaminen vähentää huippulämpötiloja ja sen myötä myös typen oksideja. Palaminen aloitetaan ruiskuttamalla pieni annos polttoainetta sylinteriin (pilot-ruiskutus). Sylinterit ovat yksilöinä elektronisesti ohjattuja kaasun syötön ja pilot-ruiskutuksen osalta.

6.10 Polttoaineiden käyttöturvallisuus

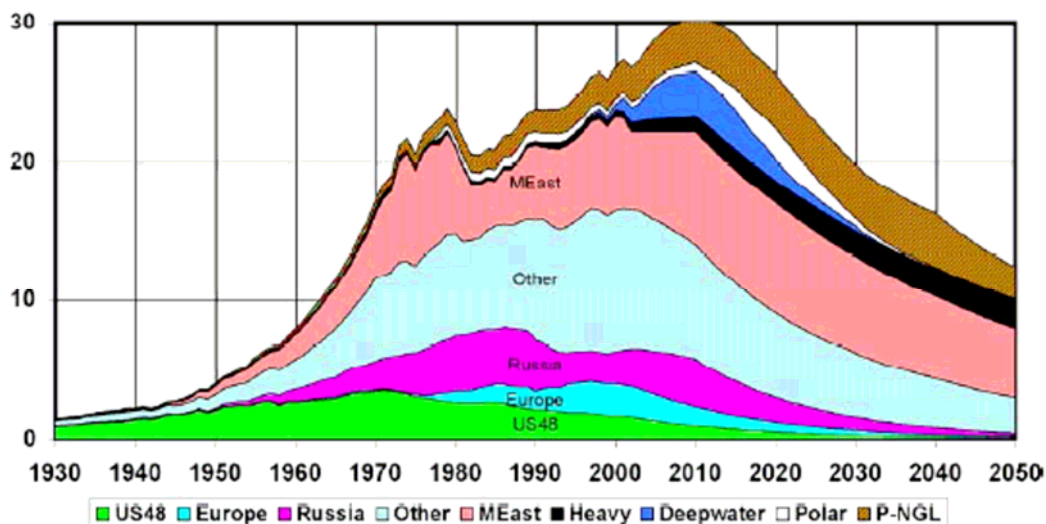
LPG- ja CNG-järjestelmät ovat yhtä turvallisia kuin tavanomainen bensiiniä käyttävä järjestelmä. Esimerkiksi Volvon käyttämät kaasujärjestelmät ovat läpäisseet samat tiukkojen vaatimusten mukaiset kolaritestit, kuin kaikki bensiinimoottorilla varustetut autot. Maakaasua käyttäville autoille on sekä pakokaasuja että turvallisuutta koskeva sertifiointimenettely. Sertifiointi tarkoittaa turvallisuuspuolella lähinnä kaasujärjestelmän komponentteja (varoventtiilit yms.). Kaasusäiliöt on juuri turvallisuuden vuoksi sijoitettu autossa sellaisiin paikkoihin, että ne ovat yhteentörmäyksen sattuessa hyvin suojatut.

Kaasukäyttöistä ajoneuvoa käsitellään kolarin ja tulipalon yhteydessä samalla tavoin kuin bensiinikäyttöistä ajoneuvoa.

6.11 Polttoaineiden riittäisyys ja kehitys

Fossiiliset polttoaineet

Raakaöljystä jalostettujen polttoaineiden ylivaltaa on uhattu pitkään. Öljyvarojen vähentymisestä on puhuttu pitkään, mutta aina öljyn on kerrottu riittävän seuraavat 50 vuotta. Nyt kuitenkin ilmaston lämpeneminen ja hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen nouseminen esille saattavat lopettaa fossiilisten polttonesteiden käytön jo ennen niiden varsinaista loppumista. Myös hintojen nousu varantojen vähentyessä herättää kiinnostuksen uusiutuviin polttoaineisiin.



Kuva 14 Öljyntuotanto eri maanosissa /15/

Yllä oleva kuva (kuva 14) kertoo nykyisen öljyntuotannon lähteet. Kuten näkyy, Euroopan osuus öljyntuotannossa on vähäinen ja öljyä on tuotava huomattava osa ulkoa esimerkiksi Lähi-idästä.

Kuvassa 14 olevaan esitykseen täytyy kuitenkin suhtautua varauksella, sillä erilaisten kriittisten arvioiden mukaan öljyä riittää varmasti sadoiksi vuosiksi. Tutkimattomia öljykenttiä on maailmassa lukematon määrä ja niistä löytyvän öljyn määrää ei osaa arvioida kukaan. Öljyn määrää on ennustettu Hubbertin teorian mukaan jo vuodesta 1956. Öljyhuippua ja samalla öljyn vähenemistä on ennustettu 1970-luvun alkuun ja vuosille 1989, 1995, 2000, 2004. Voimassa oleva ennustus öljyhuipulle on vuodelle 2010. Nämä väärät arviot asettavat kaikki öljyn riittoisuuteen liittyvät esitykset epäluotettavaan valoon.

Bensiini

Bensiini on käynyt läpi pari kehitysvaihetta viimeisen 20 vuoden aikana. Ensin lopetettiin lyijy-yhdisteiden käyttö, johon syynä oli katalyyttisen pakokaasujen puhdistuksen käyttöönotto. Toisena uudistuksena vuoden 2005 alkuun mennessä vähennettiin bensiinin rikkipitoisuutta. Syynä tähän on pakokaasujen puhdistustekniikan kehitys, joka on tuonut uusiin autoihin typen oksideja pelkistävät katalysaattorit. Nämä katalysaattorit eivät siedä rikkiä, kuten eivät kolmitoimikatalysaattoritkaan kestä lyijyä. Tällä tavoin bensiinin ominaisuuksia on pyritty harmonisoimaan autonvalmistajien sekä bensiinintuottajien yhteisin sopimuksin.

Maakaasu

Maakaasun käyttö on kasvanut, koska se palaa puhtaasti eikä synnytä hiukkaspäästöjä. Nykyiset tunnetut maakaasuvarat riittävät huomattavasti pidempään kuin öljyvarat eli ainakin 100 vuodeksi. Riippumatta siitä, että kaasun käytön ennustetaan nousevan vuosittain 3-4%. Maakaasuvarojen jakauma maapallolla on myös huomattavasti tasaisempi kuin öljyvarojen. Siten esimerkiksi Persianlahden alueen vaikutus on vähäisempi maakaasun tuotannossa. Vain kolmannes varoista on Persianlahden alueella ja toinen kolmannes Venäjän alueella.

EU:n alueella olevat esiintymät 2,2% kaasuvaroista kattavat puolet alueen kysynnästä ja loput tuodaan lähinnä Venäjältä (kaasuvaroja 48 000 miljardia kuutiometriä), Pohjois-Afrikasta, Algeriasta ja Turkista.

Suomen kannalta katsottuna maakaasu on kokonaisuudessaan tuontitavaraa ja tämän hetken tilanteessa se tuodaan kahta putkea pitkin Venäjältä Länsi-Siperiasta Jampurgin ja Urengoin maakaasukentiltä 3300 kilometrin päästä Suomen rajalta. Kaasua sieltä Suomeen tytäryhtiönsä huolehtimana toimittaa venäläinen kaasuyhtiö Gazprom.

Vastaanottoasemalla Imatralla mitataan maahan tuotavan maakaasun määrä ja seurataan sen laatua. Imatralla sijaitsevat kolme kompressoria vauhdittavat maakaasun matkaa eteenpäin Suomen siirtoverkossa.

Lisäksi Mäntsälässä sijaitsee kaksi kompressoria, joilla vauhditetaan maakaasun matkaa kohti Tamperetta ja pääkaupunkiseutua.

Verkosto kattaakin nyt Kaakkois-Suomen, pääkaupunkiseudun, Lahden seudun ja Tampereen seudun. Laajennuksia verkostoon on tulossa Turun suunnalle.

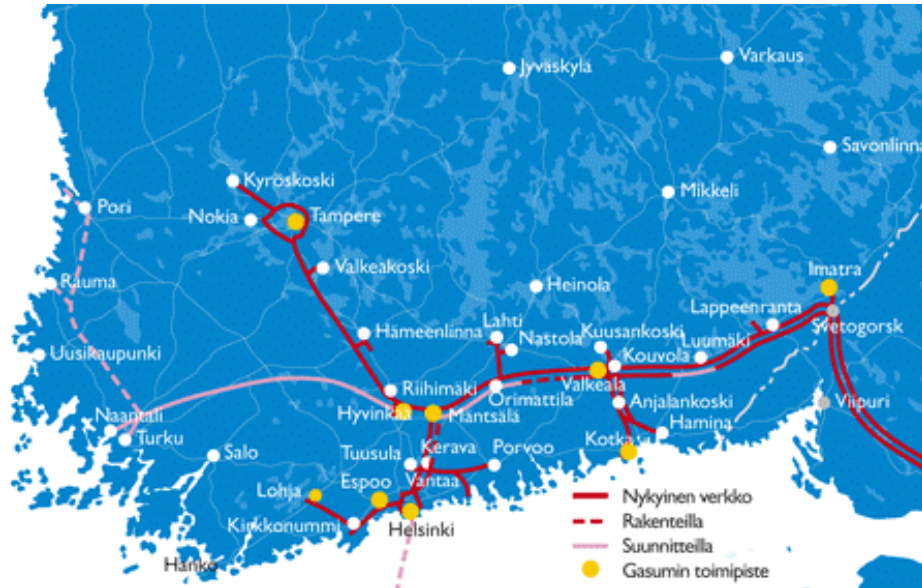
Suomessa rinnakkaisputkiverkosto ulottuu itärajalta Luumäelle asti.

Maakaasun siirtoputkiston läntisin piste sijaitsee Ikaalisten Kyröskoskella.

Kaikkiaan maakaasun käyttäjiä Gasumin siirtoputkiston varrella on 189.

Siirtoputkiston pituus on noin 1000 km.

Verkostokuvaus näkyy seuraavalla sivulla kuvassa 15.

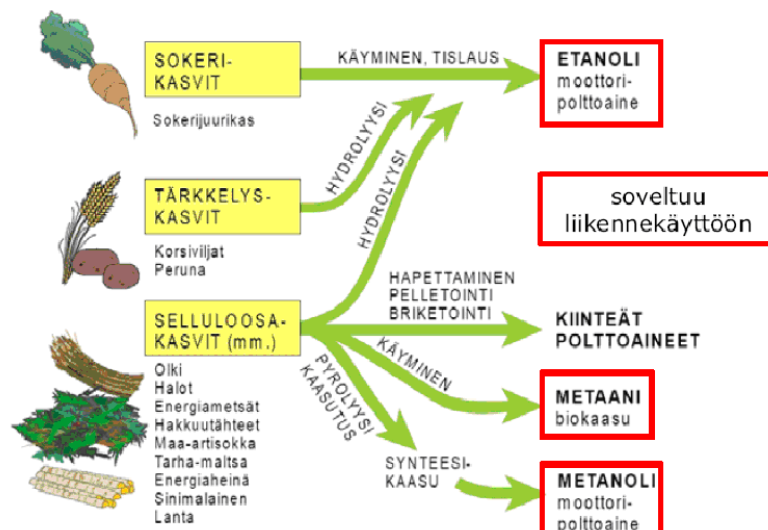


Kuva 15 Nykyinen kaasuputki ja suunniteltava laajennus /16/

Tällä hetkellä kovin puutteellista maakaasun jakeluverkostoa ja vain muutamaa tankkauspiistettä kompensoikin mahdollisuus ajaa hybridi-autolla myös bensiinillä, jonka jakeluverkosto kattaa koko Suomen.

Biopolttoaineet

Biopolttoaineet ovat EU:ssa erityisessä suosiossa ja niiden käyttöönoton vauhdittamiseen on laadittu paljon säädöksiä ja ohjeita. Syynä tähän on se, että biopolttoaineet tarjoavat hiilineutraalin energialähteen, koska kasvit sitovat yhteyttämistoiminnassaan hiilidioksidia, joten näistä kasveista valmistettua polttoainetta poltettaessa vapautuva hiili kiertää takaisin biomassaan eikä jää saastuttamaan ilmakehää. Biopolttoaineet ovat uusiutuva luonnonvara ja niiden valmistamiseen tarvittavia kasveja kasvaa useimmissa maissa.



Kuva 16 Kasveja moottoripolttoaineiden valmistuksen takaa /15/

Kuvassa 16 olevista kasveista voidaan siis valmistaa seuraavia moottoripolttoaineita: metanolia, biokaasua, etanolia.

Tällä hetkellä EU:ssa rajoitetaan alkoholien (etanoli, metanoli) pitoisuuksia bensiinissä happipitoisuuden takia. Sallittu alkoholin enimmäismäärä bensiinissä on 5%. Tällainen riittävän matalaseosteinen bensiini ei vaadi erillistä jakelujärjestelmää, vaan sitä myydään tavallisena bensiininä.

6.12 Polttoaineiden ominaisuuksien vertailu

Alla olevaan taulukkoon 4 on kerätty vertailuarvoja eri polttoaineiden saatavuudesta, jakelusta, käytettävyyshedellytyksistä, suhteellisista hinnoista ja vaikutuksista energian kulutukseen sekä päästöihin.

Taulukko 4 Polttoainevaihtoehtojen vertailua /15/

Vaihe	Ominaisuus	Bensiini	Diesel	Maakaasu	Bio-kaasu	Alkoholit	Biodiesel	DME	Vety	Hybriditekn.	Akkusähkö
Polttoaine	tuotantokapasiteetti	++	++	+ ⁽¹⁾	-	o	o	--	--		
	jalostustekniikka	++	++	++	o ⁽²⁾	+	+	-	+ ⁽²⁾		
	veroton hinta	++	++	++	++/? ⁽³⁾	-	-	-	-		
	verollinen hinta	+	+	++	++/? ⁽³⁾	-	-	-	-		
Jakelu	tekninen valmius	++	++	o	o	+	+	+	--		
	jakeluaseman hinta	++	++	--	--	+	+	o	--		
	infrastruktuurin laajuus	++	++	o	--	-	-	--	--		
Ajoneuvokalusto	saatavuus	++	++	+	+	o	+	o	--	o	-
Ajoneuvo-tekniikka	tekniikan kypsyys	++	++	+	+	+	+	o	--	+	-
	polttainesäiliön tilavuus	+	++	--	--	-	++	-	--		
	p-aineen + säiliön massa	++	++	--	--	-	++	-	-/+ ⁽⁴⁾		
Päästöt	säännellyt kokonaisuutena	o	-	+	+	o	-	+	++	+	++
	ei-säänn.(PAH, N ₂ O jne.)	o	-	+	+	-	-	+	++	+	++
Energia-tase	(p-aineen)tuotantovaihe	+	++	++	+	o	+	-	⁽⁵⁾		
	käyttövaihe	-	+	o	o	-	+	+	++		
Kasvihuonevaikutus koko käyttöketjussa		o	+	+	++ ⁽⁶⁾	++ ⁽⁷⁾	++	+ ⁽⁷⁾	⁽⁵⁾	+	

Arvosteluasteikko:	- - - o + ++
Arvostelun lähtökohta:	Joka ominaisuuden suhteen (vaakarivit) paras vaihtoehto = ++

1) pitkällä tähtäimellä maakaasun saatavuus paranee
 2) koskee perinteistä höyryreformointia maakaasusta, tuotantomenetelmät ei-fossiilista lähtöaineista sekä elektrolyytisesti vedestä toistaiseksi vähän käytettyjä
 3) kaatopaikkakaasun puhdistustekniikka & kustannukset eivät ole riittävästi tiedossa
 4) kaasumaisen vedyn säiliö painava, nesteytetyn kevyt
 5) riippuu ratkaisevasti raaka-aineesta ja tuotantomenetelmästä
 6) biokaasun talteenotto vähentää metaanin, voimakkaan kasvihuonekaasun, päästöjä ilmakehään
 7) CO₂-tase taulukon osoittamalla tasolla vain biomassasta valmistettuna; jos fossiilista energiaa, niin tase on huonompi

6.13 Polttoaineiden jakeluverkostot

Vaihtoehtoiset polttoaineet /16/

Tällä hetkellä Suomessa on kuusi tankkauspistettä, joista saa ainoastaan paineistettua maakaasua (CNG=Compressed Natural Gas) liikennekäyttöön.

Asemilla ei myydä nestekaasua (LPG=Liquified Petroleum Gas). Maakaasu on

käytännössä metaania (CH₄), nestekaasu puolestaan propaania (C₃H₈) tai propaanin ja butaanin (C₄H₁₀) seosta. Kyseessä on ajoneuvokäytössä kaksi täysin eri polttoainetta.

Nämä maakaasun tankkausasemat sijaitsevat:

- Helsingin Malmilla, Tattariharjuntielle Jarrutien risteyksessä
- Helsingin Sörnäisissä, Kaasutehtaankatu 1
- Kouvolassa Citymarketin tontilla, Tommolankatu 5
- Kotkassa/Karhulassa Amiraali-liikenneaseman yhteydessä, Haminantie 1
- Tampereen Nekalassa, Viinikankatu 40
- Haminan Energialla ja ST1:llä on maakaasun tankkausasema Haminassa

Lisäksi Gasumin asemalla tankkaamiseen tarvitaan erillinen GasCard.

Lohjalle, Espooseen ja Porvooseen on tulossa vastaavanlaiset maakaasun tankkausasemat. Seuraavien kahden vuoden aikana Gasumin on tarkoitus rakentaa uusia asemia pääkaupunkiseudun lisäksi mm. Lahteen ja Lappeenrantaan.

Lisäksi maakaasutankkausta pyritään mahdollisuuksien mukaan tuomaan tarjolle jo olemassa olevien, perinteisten polttoaineiden tankkausasemien yhteyteen.

Bensiini /10/

Suomessa on yhteensä noin 2000 erityyppistä huoltoasemaa. Huoltamoiden kokonaismäärä on jo pitkään pysynyt lähes samana, vaikka eri asematyyppien osuudet ovat muuttuneet. Suuntaus on ollut jo pitkään kohti asemaverkoston automatisointia. Seuraavan sivun taulukossa (taulukko 5) on esitetty bensiinin jakelupisteiden määrä vuoden 2006 lopussa.

Öljy- ja Kaasualan Keskusliiton keräämien tietojen mukaan erilaisia huoltoasemia oli maassamme vuoden 2006 lopussa kaikkiaan 2013. Automaattiasemia niistä oli 943. Yhä suurempi osa bensiinistä tankataan siis automaattiasemilla. Huolto- ja jakeluasemien osuus bensiinikaupasta oli 54 prosenttia. Pieni osa bensiinistä myydään veneasemilla ja huoltoasematilaston ulkopuolisissa pienissä myyntipisteissä, esimerkiksi kyläkauppojen yhteydessä. Bensiinin tankkaamiseen ei tarvita erityistä anottavaa korttia kuten maakaasun tapauksessa.

Jakelupisteet 31.12.2006

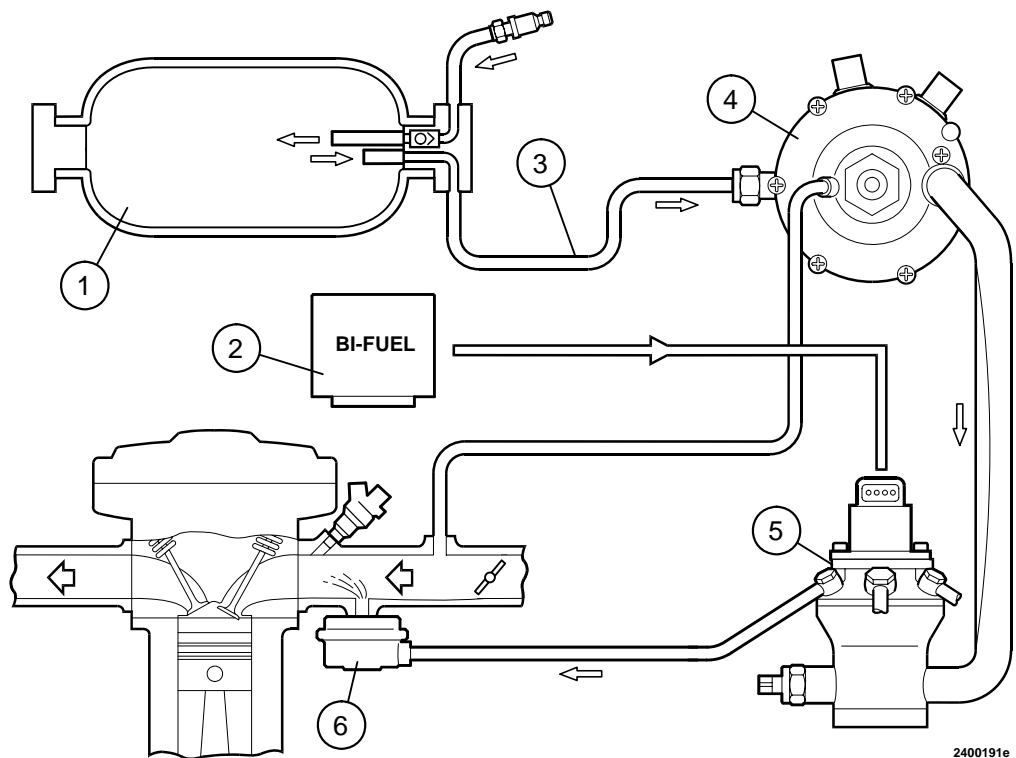
	Huoltamat	Automaatti-asemat	Yhteensä
ABC*	81*	208	287
Esso	164	28	192
JET	0	49	49
Neste	366	190	556
SEO	83	73	156
Shell	178	58	236
Station 1	42	209	251
Teboil	172	130	302
Erutus	-6	0	-6
YHTEENSÄ	1 070	943	2 013

* Mittakentät:	
ABC	75
Esso	3
Shell	3
Yht.	81

Taulukko 5 Jakelupisteet Suomessa 31.12.06 /10/

7 BI-FUEL HYBRIDIJÄRJESTELMIEN KOMPONENTIT JA TOIMINTA /14/

Kaasujärjestelmän kokonaiskuvaus



Kuva 17 Volvon BI-Fuel kaasujärjestelmä /14/

- 1 Säiliö
- 2 Ohjausyksikkö
- 3 Putkisto

- 4 Paineensäädin
- 5 Polttoainenjakaaja
- 6 Suihkutin

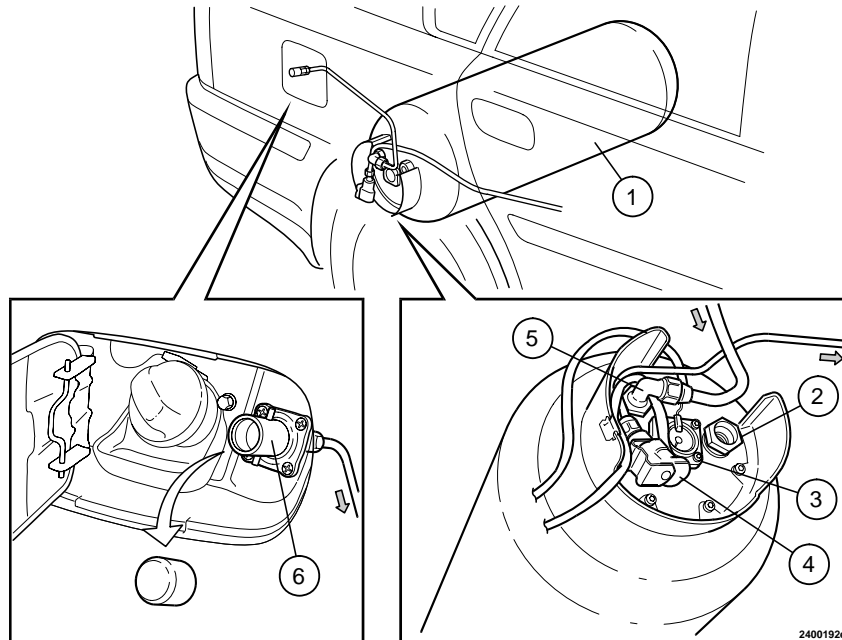
Polttoainetta säilytetään painesäiliössä (1) paineistettuna siitä syystä, että se vie silloin pienemmän tilan ja on siten helpompaa käsitellä.

Järjestelmän eri osat ovat putkiston (3) kautta yhteydessä toisiinsa.

Järjestelmässä oleva paineensäädin (4) säätelee kaasun painetta haluttuun tasoon ja polttoainenjakaaja (5) syöttää oikean määrän polttoainetta jokaiselle sylinterille.

Moottorin imuputkessa on kaasusuihkutin (6) jokaiselle sylinterille erikseen.
Järjestelmää ohjataan elektronisen ohjausyksikön (2) avulla.

Kaasusäiliö ja venttiilistö



Kuva 18 Kaasusäiliö ja venttiilistö /14/

1 Kaasusäiliö
2 Varoventtiili
3 Tasoanturi

4 Sulkuventtiili
5 Tasoventtiili
6 Täyttönippa

Säiliöt ja putkistot on mitoitettu aina autossa käytettävän polttoaineen mukaan.
Tästä syystä CNG- ja LPG -autojen välillä on huomattavia materiaalieroja, sillä
CNG -järjestelmän säiliössä paine on 200 baaria 15°C lämpötilassa, kun LPG -
järjestelmän paine on 8 baaria vastaavassa lämpötilassa.

Polttoaineen määrän mittaamiseksi säiliöön on sijoitettu antureita ja
kaasujärjestelmästä riippuen anturit ovat erityyppisiä.

Kaasun hallitsemiseksi järjestelmät on varustettu seuraavilla venttiileillä:

Takaiskuventtiili: Säiliön täyttöputkessa on nippa (6), johon täyttöletku
kiinnitetään tankattaessa ja nippaan on integroitu takaiskuventtiili.

Sulkuventtiili (4): Kaasuvirran avaamiseen ja sulkemiseen käytetään
elektromagneettisia venttiilejä, joiden toimintaa ohjausyksikkö ohjaa.

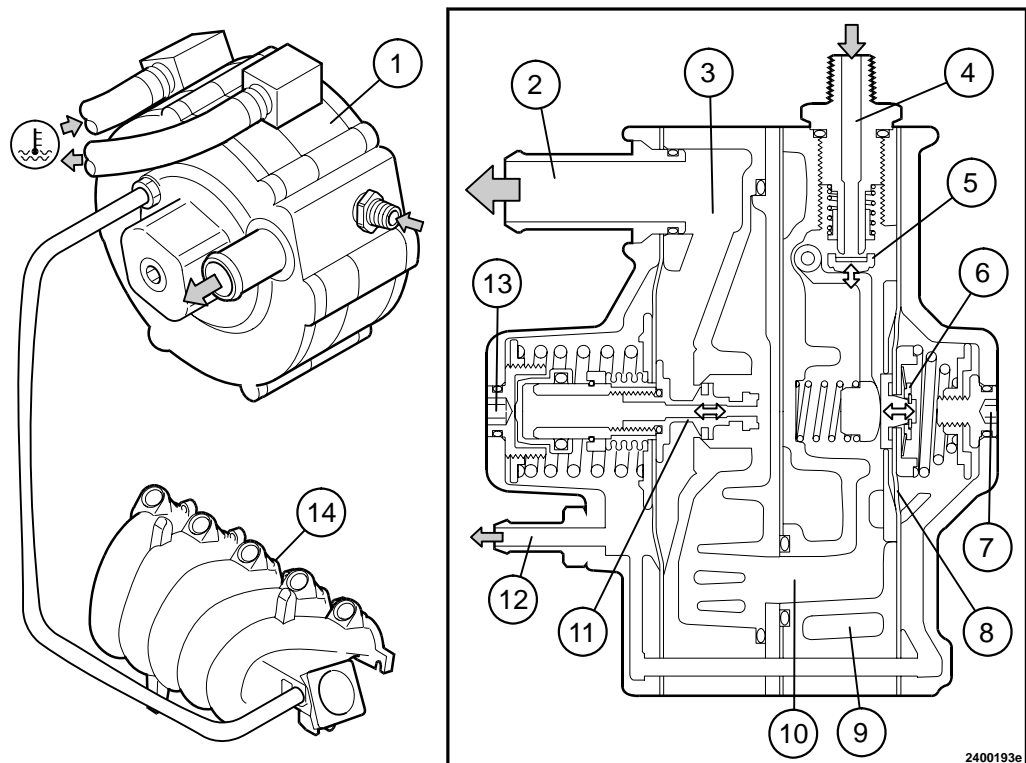
Varoventtiili (2):

- LPG –järjestelmällä varustetuissa autoissa avautuu varoventtiili, jos polttoainesäiliön paine kohoaa liikaa.
- CNG –järjestelmällä varustetuissa autoissa säiliöissä käytetään lämpövaroketta.

Tasoventtiili (5):

- LPG -autoissa tasoventtiili sulkee säiliön täyttöputken, kun säiliöstä on täytetty 80 %.
- CNG -säiliötä täytettäessä syöttöpumppu pysähtyy automaattisesti tietyssä paineessa.

Paineensäätö



Kuva 19 Paineensäätö /14/

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| 1 Paineensäädin | 8 Kalvo porras 1 |
| 2 Poisto | 9 Jäähdytysnestekanava |
| 3 Porras 2 | 10 Porras 1 |
| 4 Tulo | 11 Venttiili porras 2 |
| 5 Imuventtiili | 12 Alipaineliitäntä |
| 6 Varoventtiili | 13 Säättöruuvi porras 2 |
| 7 Säättöruuvi porras 1 | 14 Imuputki |

Kaasun painetta joudutaan säätämään, ennen kuin polttoaineenjakaaja jakaa kaasun sylintereihin. Eli paine on huomattavasti suurempi säiliössä, kuin millä polttoaineenjakaaja jakaa kaasua. Volvon moottoreissa on käytössä paine, joka on 960 +/- 20 mbar suurempi kuin imuputken paine.

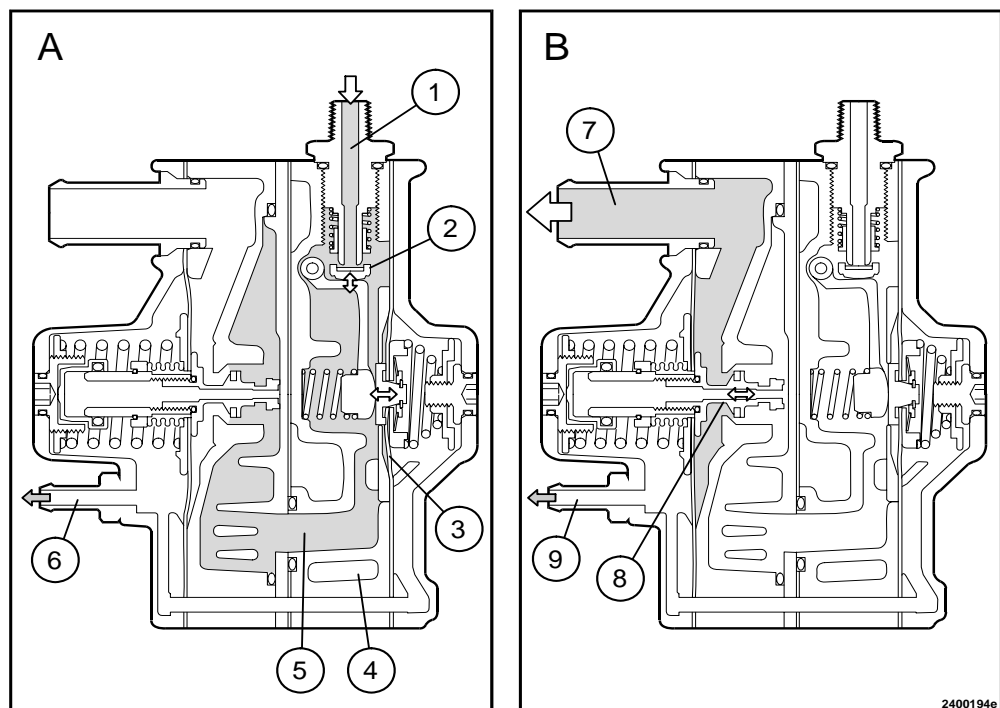
Paineensäädin (1) huolehtii paineen alentamisesta kyseiselle tasolle matkalla säiliöstä polttoainenjakkajalle. Toimenpiteessä, jossa paine lasketaan pienemmäksi kuin säiliöpaine, höyrystyy säiliössä nestemäisenä oleva LPG välittömästi paineensäätimessä. Tästä syystä paineensäädintä kutsutaan LPG:n yhteydessä myös höyrystimeksi.

Paineensäätimen toiminta

Säiliöpaine lasketaan alhaisemmaksi kahdessa portaassa ja säädintä ohjataan imuputken paineella, jotta se reagoisi mahdollisimman nopeasti moottorin kuormituksen muutoksiin.

Säädin on liitetty imuputkeen alipaineletkulla. Säätimessä pidetään aina 960 mbar suurempi paine kuin imuputkessa. Painerajat asetetaan säätöruuveilla.

Kaksiportaisen paineensäädön vaiheet



Kuva 20 Kaksiportainen paineensäätö /14/

- 1 Kaasun tulo säiliöstä
- 2 Imuventtiili
- 3 Kalvo porras 1
- 4 Jäähdytysnestekanava
- 5 Porras 1

- 6 Alipaineliitännä
- 7 Poisto
- 8 Venttiili porras 2
- 9 Alipaineliitännä

Porras 1

Säätimen ensimmäinen kammio on kytketty moottorin jäähdytysjärjestelmään (4). Vesilämmitys parantaa LPG:n höyrystymistä. CNG -järjestelmissä tämä sen sijaan ehkäisee jäätymistä kaasun laajetessa.

Kun kaasuvirta avataan, kammio täyttyy ja kaasun paine vaikuttaa kalvon (3) välityksellä kartiojouseen.

Jousikuormitettu vipu sulkee imuventtiilin (2), kun säädetty paine on saavutettu.

Porras 2

Tämän tehtävänä on ylläpitää vakiopaine suhteessa imuputken paineeseen.

Portaiden välillä on jousikuormitettu venttiili. Kun ensimmäisen portaan paine ylittää jousipaineen, avautuu venttiili (8) toiseen portaaseen.

Toinen porras on säädetty 960 mbar:in ylipaineelle.

Takaisinkytkentä

Jotta ensimmäisen portaan paine ei vaikuttaisi toisen portaan paineeseen, on portaiden välillä takaisinkytkentä. Takaisinkytkennän vaikutuksesta ensimmäisen portaan paine on myös toisen portaan venttiilin toisella puolella. Tämä on venttiilin tasapainon edellytys.

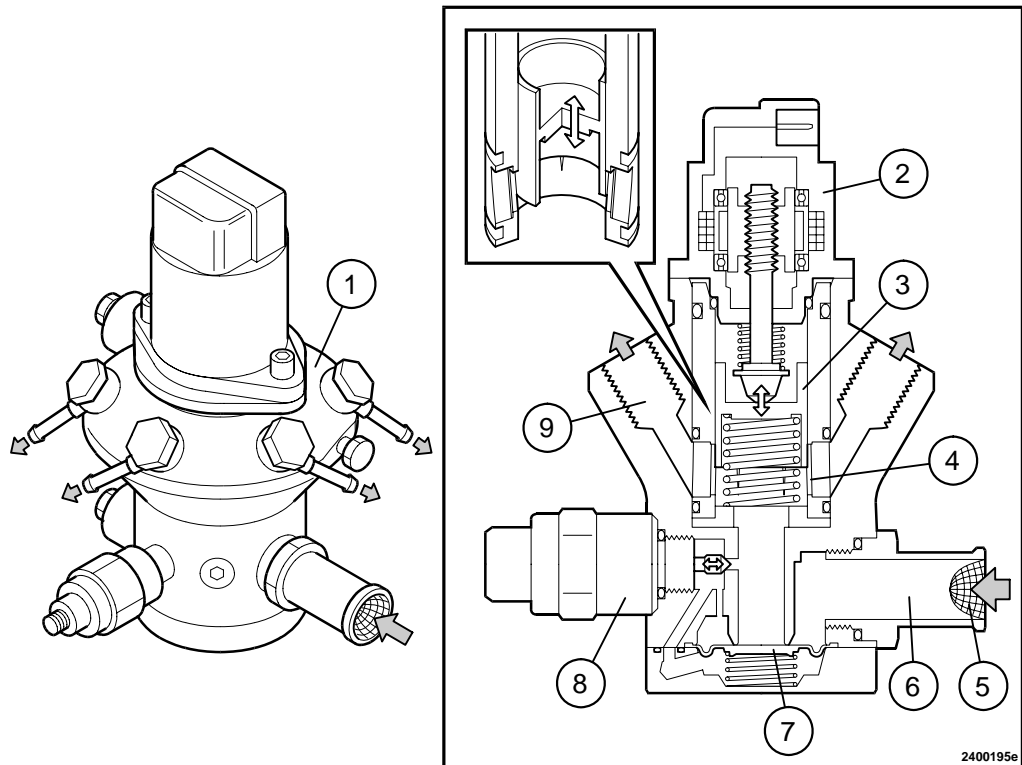
Varoventtiili

Varoventtiili suojaa ensimmäistä porrasta ylipaineelta.

Venttiilin lauetessa kaasu poistuu alipaineletkun kautta imuputkeen. CNG tuuletetaan moottoritilaan.

Esimerkki tahattomasta paineen kohoamisesta on tilanne, jossa kaasuvirta jostakin syystä pysähtyy samalla kun jäähdytysneste jatkaa ensimmäisessä kammiossa olevan kaasun lämmittämistä. Tällöin sisään suljettu kaasu laajentuu, mistä aiheutuva paineen kohoaminen on tasattava.

Polttoaineen jako

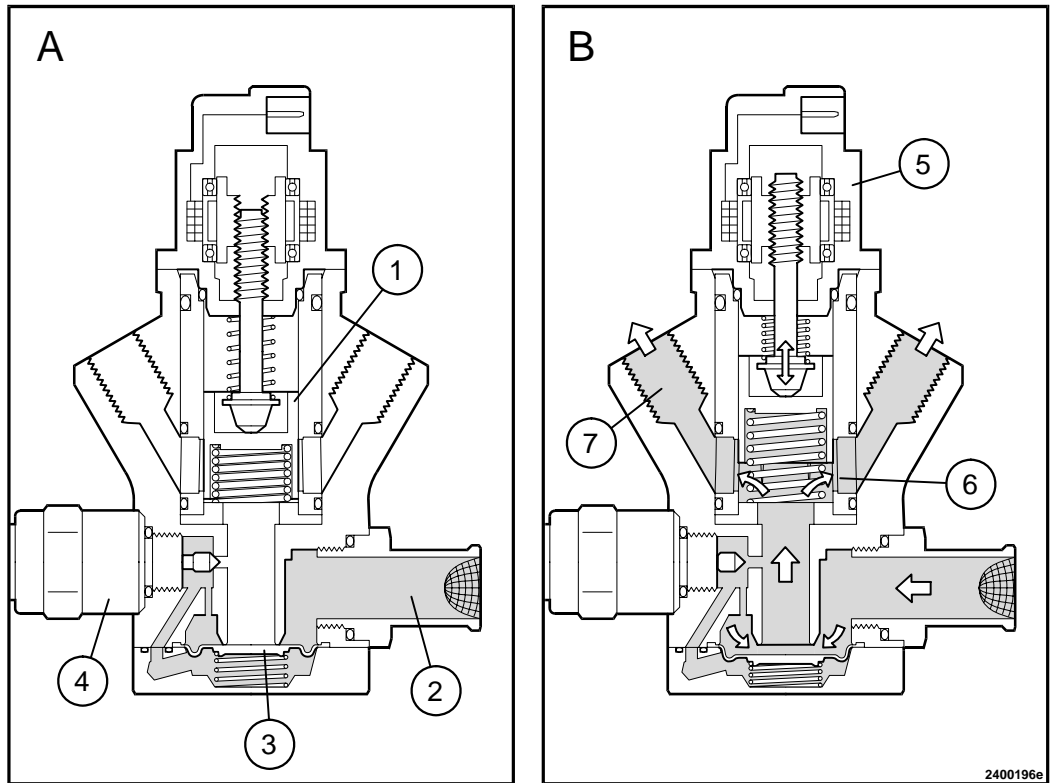


Kuva 21 Polttoaineen jako /14/

- 1 Polttoaineenjakaaja
- 2 Askelmoottori
- 3 Mäntä
- 4 Kolmioaukko
- 5 Siivilä

- 6 Tulo
- 7 Jousikuormitettu kalvo
- 8 Sulkuventtiili, DFCO
- 9 Poisto

Polttoaineenjakaajan (1) tehtävänä on toimittaa jokaiselle sylinterille samaa polttoaineseosta. Järjestelmä pyrkii tavalliseen tapaan pitämään arvon $\lambda = 1$. Polttoaineenjakaajan toiminta on selvitetty seuraavalla sivulla.



Kuva 22 Polttoaineenjakaaja /14/

- | | |
|--------------------------|-----------------|
| 1 Mäntä | 5 Askelmoottori |
| 2 Tulo | 6 Kolmioaukko |
| 3 Jousikuormitettu kalvo | 7 Poisto |
| 4 Sulkuventtiili, DFCO | |

Polttoaineenjakaajan tuloputkessa (2) on siivilä, joka estää epäpuhtauksia pääsemästä sisään. Jakokammion pohjassa on jousikuormitettu kalvo(3).

Sulkuventtiili

Polttoaineenjakaajaan on integroitu elektromagneettinen venttiili (4), joka avaa ja sulkee jakajan läpi kulkevan kaasuvirran. Venttiiliä ohjaa ohjausyksikkö. Kaasulla ajettaessa venttiili sulkeutuu moottorijarrutuksen tai moottorin ylikierrosten yhteydessä.

Tästä käytetään myös nimitystä DFCO, Deceleration Fuel Cut Off.

Auki: kaasikäytöllä.

Kiinni: bensiinikäytöllä, kun moottori pysäytetään, moottorijarrutuksen ja ylikierrosten yhteydessä.

Annostus

Mäntä (1) liikkuu holkissa, jossa on kolmioaukko (6) jokaiseen sylinteriin. Männän kulloinenkin asento siis määrää, paljonko kaasua näiden rakojen läpi pääsee.

Mäntää säädetään askelmoottorilla.

Joka kerta moottorin käynnistyessä mäntä palautetaan pohja-asentoon. Mäntä sijoitetaan oikeaan asentoon vasta ohjausyksikön luettua kierrosnopeuden ja kuormituksen (MAP= imusarjan alipaine).

Järjestelmään on ohjelmoitu pieni limitysaika, mikä merkitsee sitä, että erittäin lyhyen ajan syötetään sekä bensiiniä että kaasua. Näin saadaan keskeytymätön polttoainevirta, minkä ansiosta polttoaineen vaihto tapahtuu pehmeästi.

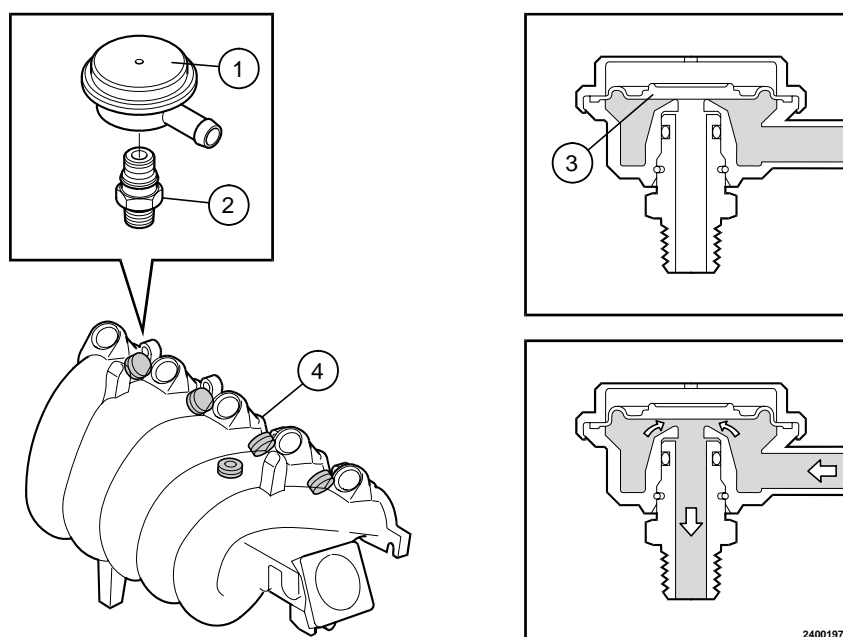
Kaasun annostuksen määrää osaksi rakojen avautuma, mutta osaksi myös polttoaineenjakaajan syötettävän kaasun paine.

Askelmoottori

Koostuu kaksikämisestä staattorista ja roottorista, jossa on kestopagneetti.

Askelmoottorissa on Volvon tapauksessa 256 askelta ja sen siirtymiskyky on 160 askelta sekunnissa. Mäntä siirtyy 0,04 mm/askel. Myös askelmoottoria ohjaa ohjausyksikkö.

Imuputkisto ja suihkuttimet



Kuva 23 Imuputki ja suihkuttimet /14/

1 Suihkutin
2 Nippa

3 Kalvo
4 Imuputki

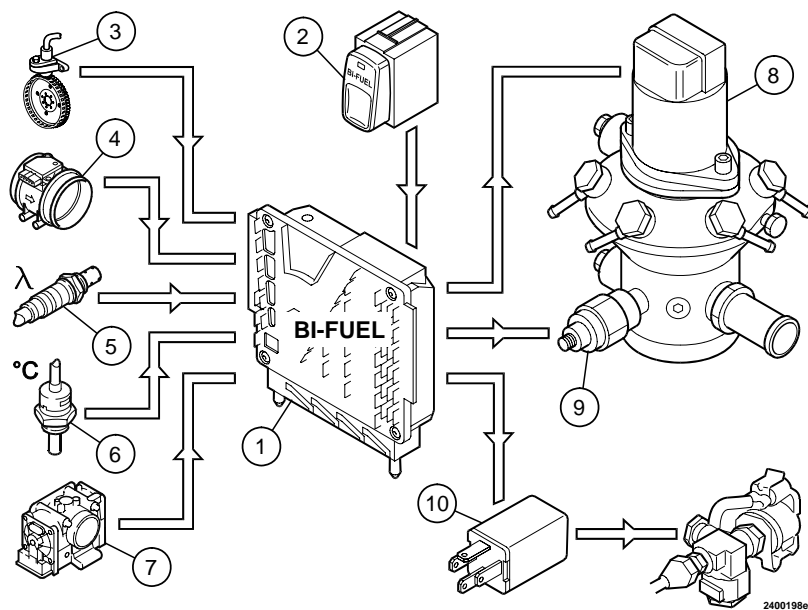
Imuputkessa (4) on erityissovituksena kiinnikkeet kaasujärjestelmän suihkuttimille.

Suihkuttimet (1) ovat järjestelmän passiivisia komponentteja.

Jokaisessa suihkuttimessa on kalvo (3), joka avautuu paine-eron syntyessä kaasupuolen ja imuputken välille. Tämä varmistaa moottorin kuormituksesta riippuvan vakiosuihkutuspaineen.

Kaasun paine suihkuttimille menevissä johdoissa vastaa aina suunnilleen ilmakehän painetta, minkä ansiosta venttiilit reagoivat nopeasti paineen muutoksiin imuputkessa.

Hallintajärjestelmä



Kuva 24 Hallintajärjestelmä /14/

Kaasujärjestelmää hallitaan elektronisen ohjausyksikön (1) avulla. Tämä voi olla erillinen tai auton tavalliseen moottorinohjausjärjestelmään integroitu.

Ohjausyksikkö ohjaa esimerkiksi polttoainenjakkajan askelmoottoria (8) oikean annostuksen saamiseksi.

Kaksi tärkeintä ohjainlaitteelle menevää parametria ovat moottorin kierrosnopeus ja imuputken paine.

Seuraavassa on esitetty järjestelmän antureilta tulevien signaalien ja toimilaitteille lähtevien signaalien tiedot.

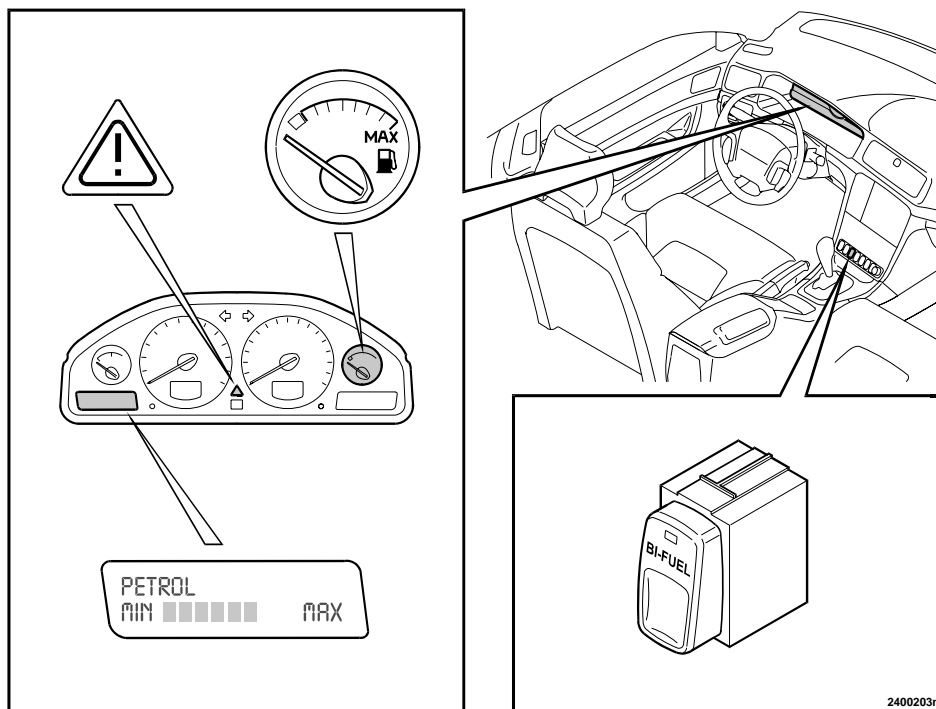
Tulevat signaalit:

- Ohjausyksikkö, ohjaa kaasujärjestelmää
- Vaihtokytkin, polttoaineen valintakytkin
- Kierrosnopeusanturi, tieto moottorin kierrosnopeudesta
- MAP –anturi, tieto imuputken paineesta
- Happitunnistin, tieto pakokaasujen happipitoisuudesta
- Jäähdytysnesteen lämpötila-anturi, tieto jäähdytysnesteen lämpötilasta
- Kaasuläpän asentoanturi, tieto kaasuläpän asennosta

Lähtevät signaalit:

- Askelmoottori, polttoaineenjakaaja → askelmoottorin ohjaus
- Sulkuventtiili (DFCO) → polttoaineenjakaajan venttiilin ohjaus
- Rele → aktivoi sulkuventtiilit

Ohjaamo



Kuva 25 Mittaristo ja vaihtokytkin /14/

Vaihtokytkin kaasu/bensiini

Vaihtokytkin on sijoitettu keskikonsoliin.

Moottori käynnistyy aina bensiinillä, vaikka vaihtokytkin olisikin kaasuasennossa.

Kaasukäyttö kytkeytyy, kun moottori on saavuttanut oikean lämpötilan.

Vaihtokytkimen valo vilkkuu säännöllisesti siihen saakka, kunnes kaasukäyttö kytkeytyy, jolloin se sammuu.

Vaihtokytkimen valo vilkkuu säännöllisesti myös moottorin siirtyessä bensiinikäytölle kaasun loppuessa. Lisäksi valo palaa aina bensiinikäytön ollessa kytkettynä.

Kaasumittari

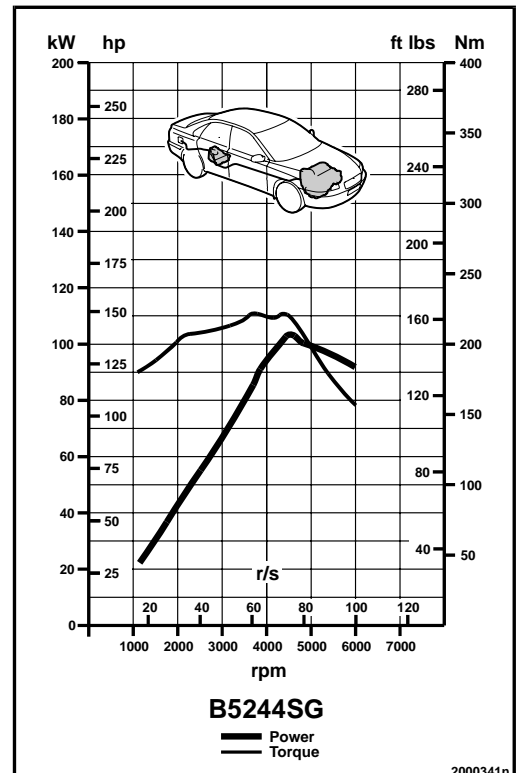
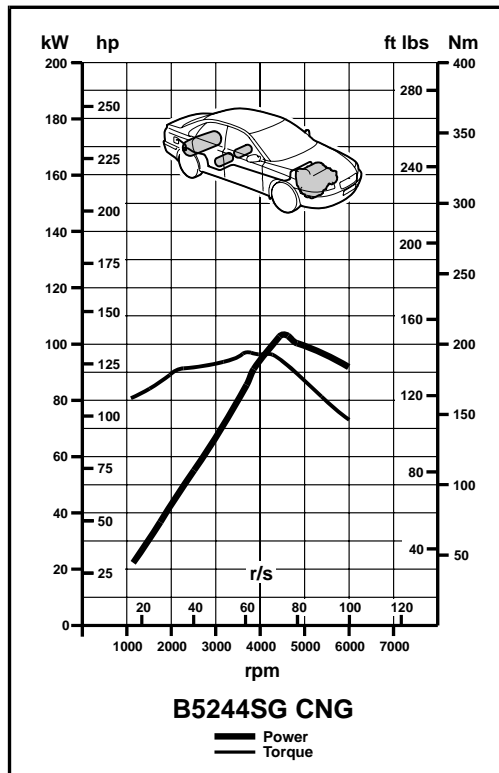
Kaasumittari korvaa hybridi-autossa bensiinimittarin. Se näyttää polttoainemäärän prosenteissa. Kojelaudassa on lisäksi varoitusvalo, joka syttyy kaasun ollessa vähissä.

DIM -mittari

Näyttää bensiinin määrän kahdeksan pisteen vaakasuoralla asteikolla. Jokainen piste vastaa 3 litraa bensiiniä. Kun bensiinisäiliö on täynnä, näkyvät kaikki kahdeksan pistettä. Määrän laskiessa alle 9 litran syttyy teksti ”PETROL LOW LEVEL”.

7.1 Kaasujärjestelmien erot (CNG JA LPG)

Tekniset tiedot ja tehokäyrät (CNG)

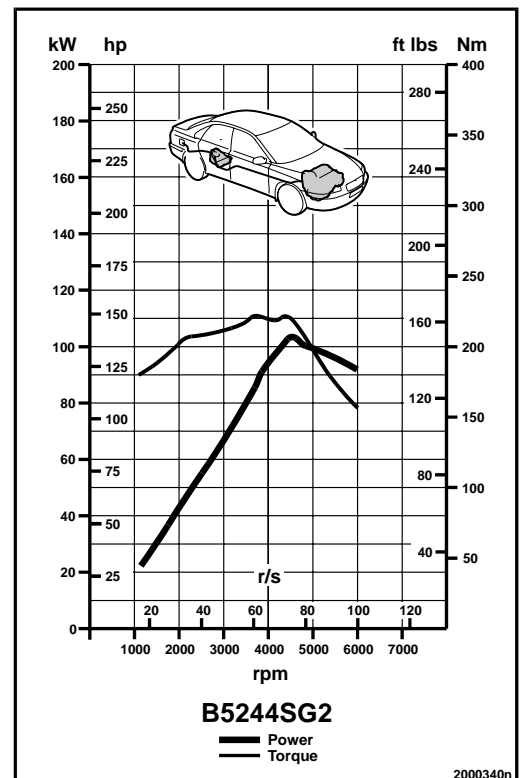
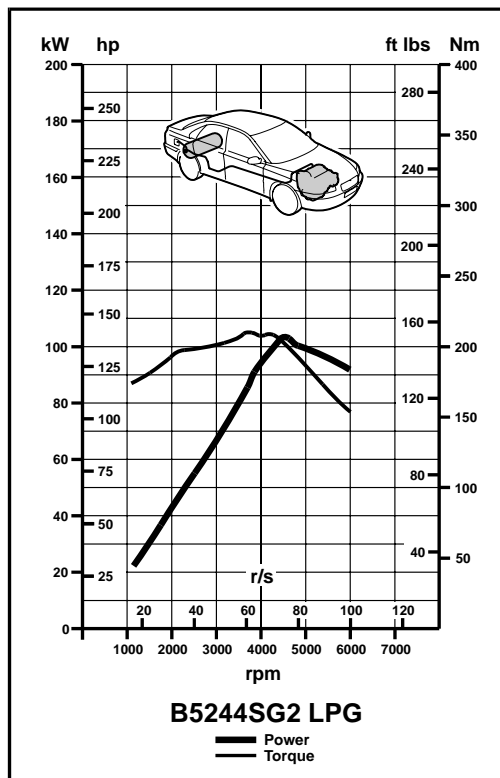


Kuvat 26 ja 27 Teho- ja vääntökäyrät vertailussa (CNG ja bensiini) /14/

Taulukko 6 Tekniset tiedot /14/

Puristussuhde	10,3:1	
Iskutilavuus	2435 cm ³	
	Bensiinikäytöllä	Kaasukäytöllä (CNG)
Teho	103 kW(140hv)/4500 r/min	103 kW(140hv)/5800 r/min
Vääntömomentti	220 Nm/3300 r/min	192 Nm/4500 r/min
Huippunopeus	205 km/h	205 km/h
Kiihtyvyys 0-100 km/h	10,5 s	11,0 s
Kulutus (kaup./maantie/yhd.)	12,4/6,9/9,0 L/100 km	13,1/7,3/9,0 L/100 km
Hiilidioksidipäästöt	215 g/km	169 g/km
	Bensiinimoottorilla	Hybridimoottorilla
Hinta	39 100 €	42 700 €
Hinnat alkaen Suomessa sis. veron		

Tekniset tiedot ja tehokäyrät (LPG)



Kuvat 28 ja 29 Teho- ja vääntökäyrät vertailussa (LPG ja bensiini) /14/

Taulukko 7 Tekniset tiedot /14/

Puristussuhde	10,3:1	
Iskutilavuus	2435 cm ³	
	Bensiinikäytöllä	Kaasikäytöllä (LPG)
Teho	103 kW(140hv)/4500 r/min	103 kW(140hv)/5100 r/min
Vääntömomentti	220 Nm/3300 r/min	214 Nm/4500 r/min
Huippunopeus	205 km/h	205 km/h
Kiihtyvyys 0-100 km/h	10,5 s	10,6 s
Kulutus (kaup./maantie/yhd.)	12,4/6,9/9,1 L/100 km	13,1/8,3/12,2 L/100 km
Hiilidioksidipäästöt	215 g/km	197 g/km
	Bensiinimoottorilla	Hybridimoottorilla
Hinta	39 100 €	42 700 €
	Hinnat alkaen Suomessa sis. veron	

Polttoainemäärien erot

Maksimi polttoainemäärä LPG:tä = 56 l. LPG on säiliössä nesteinä. Tämä antaa noin 500 km:n ajomatkan. Kun taas CNG –järjestelmässä polttoainemäärä on kaasulla = 23 m³ ilmakehän paineessa, tämä antaa noin 300 km:n ajomatkan.

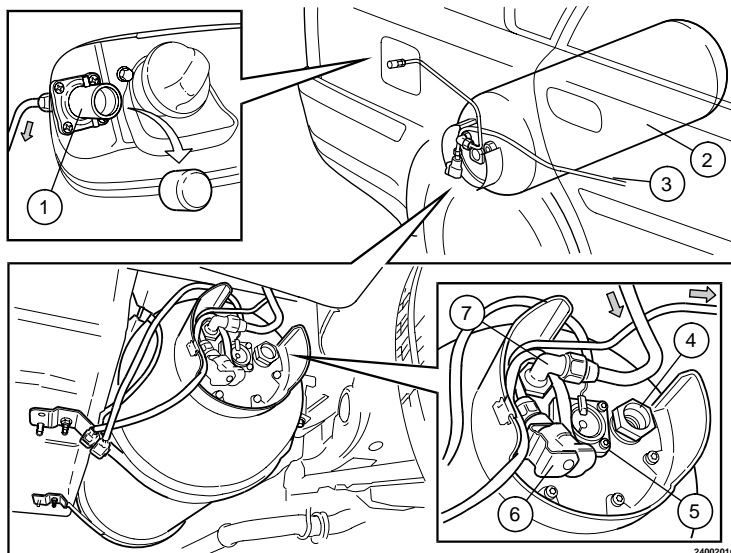
Integroitujen turvalaitteiden erot

LPG –järjestelmään on integroitu säiliössä oleva varoventtiili, joka avautuu paineessa 27 bar.

CNG –järjestelmässä varoventtiilin virkaa hoitaa kaasusäiliössä oleva lämpövaroke, joka laukeaa lämpötilan ylittäessä 103°C.

Säiliöjärjestelmien erot

LPG



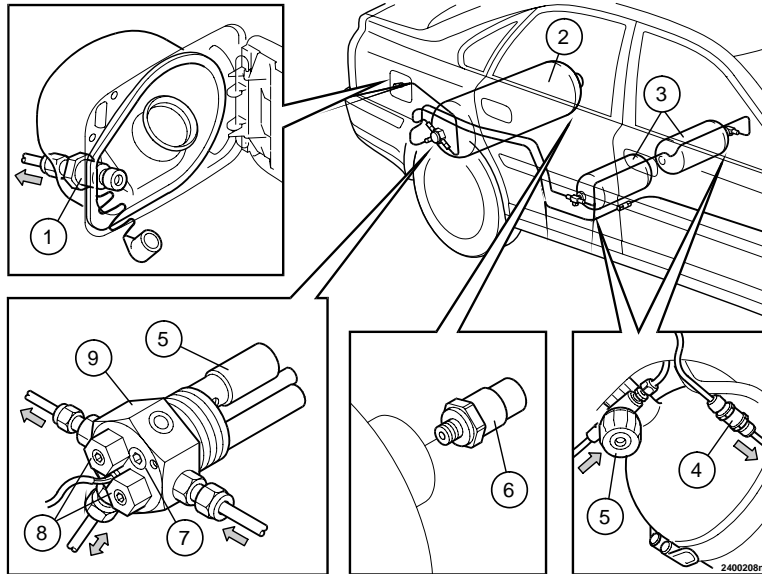
Kuva 30 Säiliöjärjestelmä (LPG) /14/

- 1 täyttönippa
- 2 kaasusäiliö
- 3 polttoainejohto moottoriin
- 4 varoventtiili

- 5 tasoanturi
- 6 sulkuventtiili
- 7 tuloventtiili

Kaasusäiliö on valmistettu teräksestä ja se on kiinnitetty lattian alle kahdella teräsvanteella. Säiliön tilavuus on 70 litraa ja paine on pysyvästi 8 bar 15°C:n lämpötilassa. Kaasuputket ovat muovilla päällystettyä kuparia.

CNG



Kuva 31 Säiliöjärjestelmä (CNG) /14/

- 1 täyttönippa
- 2 kaasusäiliö, iso
- 3 kaasusäiliö, pieni
- 4 suodatin
- 5 sulkuventtiili

- 6 tasoanturi
- 7 lämpövaroke
- 8 mekaaninen sulku
- 9 venttiilipesä

Säiliöjärjestelmä käsittää yhden ison säiliön ja kaksi pienempää säiliötä. Kaasu kulkee aina ison säiliön kautta. Iso säiliö on valmistettu alumiinista ja päällystetty komposiittimateriaalilla. Se on kiinnitetty alustaan ja sen tilavuus on 73 litraa. Maksimipaine, säiliön ollessa täynnä, on 200 bar 15°C:n lämpötilassa.

Minimipaine on noin 10 bar.

Pienet säiliöt on puolestaan valmistettu teräksestä ja ne on myös sijoitettu auton alustaan normaalin säiliötilan etuosaan. Näiden pienten säiliöiden tilavuus on 13 litraa/kpl. Putkistot ovat ruostumatonta terästä.

Täyttölaitteiden erot

LPG –järjestelmää tankattaessa säiliössä oleva uimuri sulkee tuloventtiilin, kun säiliöstä on täytetty 80%. Näin säiliöön jää laajenemisvara.

Kun CNG -järjestelmän säiliö täyttyy, syöttöpumppu pysähtyy automaattisesti tietyssä paineessa.

Säiliöventtiilistöjen erot

LPG

Tasoanturi

Uimuri mittaa LPG:n määrän säiliössä. Uimuri on mekaanisesti kytketty säiliössä olevaan mittariin ja resistiivinen anturi lähettää signaalin REM:ille.

CNG

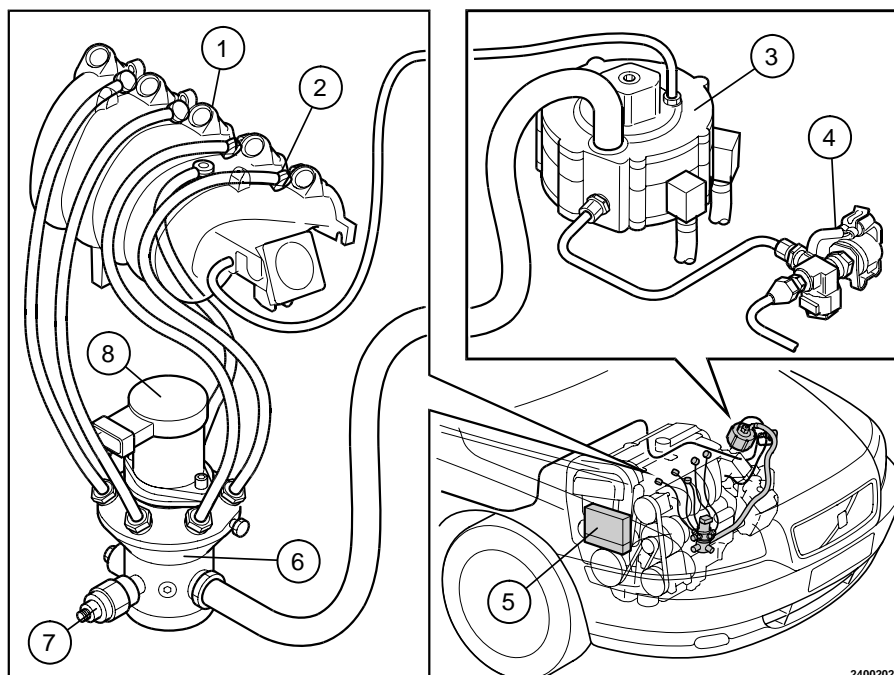
Tasoanturi

Kaasun määrän laskemiseksi säiliössä on kaksi anturia, jotka on integroitu yhdeksi yksiköksi. Tämä on asennettu säiliön vasemmalle sivulle. Mittaamalla paine ja lämpötila voidaan laskea säiliössä olevan kaasumäärän oikea arvo, niin kutsuttu lämpötilakompensoitu paine.

Paineanturina toimii kalvo, joka mittaa differentiaalisen paineen. Anturille syötetään 5V ja se antaa lineaarisen lähtöjännitteen. $0,5V = 0 \text{ bar}$ ja $4,5V = 200 \text{ bar}$. CNG –järjestelmässä mitataan siis myös kaasun lämpötilaa resistiivisellä anturilla.

Erot moottoritilassa

LPG



Kuva 32 Moottoritila (LPG) /14/

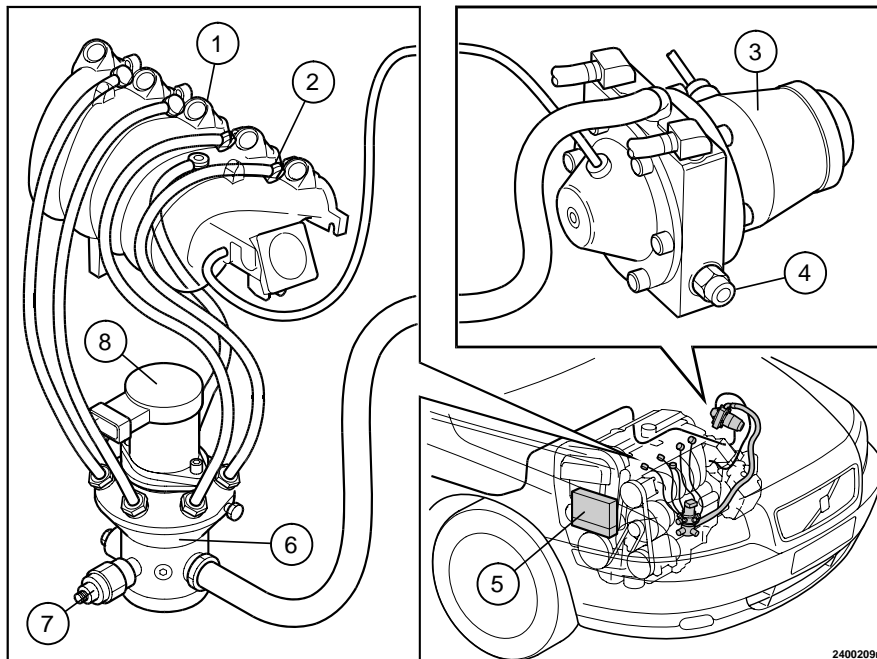
- 1 imuputki
- 2 suihkuttimet
- 3 paineensäädin
- 4 sulkuventtiili
- 5 ohjausyksikkö

- 6 polttoaineenjakaaja
- 7 polttoaineenjakaajan sulkuventtiili
- 8 askelmoottori

Sulkuventtiili on sijoitettu paineensäätimen viereen. Paineensäätimellä paine lasketaan säiliön 8 barista 0,96 bariin.

Säiliöpaine lasketaan järjestelmäpaineeksi kahdessa portaassa. Ensimmäinen porras on säädetty 1,40 barin ylipaineelle ja toinen porras on säädetty 0,96 barin ylipaineelle. Kummassakin portaassa on erikseen säätöruuvit. Ensimmäisessä portaassa on lisäksi varoventtiili, joka laukeaa 5 barin paineessa.

CNG



Kuva 33 Moottoritila (CNG) /14/

- 1 imuputki
- 2 suihkutin
- 3 paineensäädin
- 4 varoventtiili

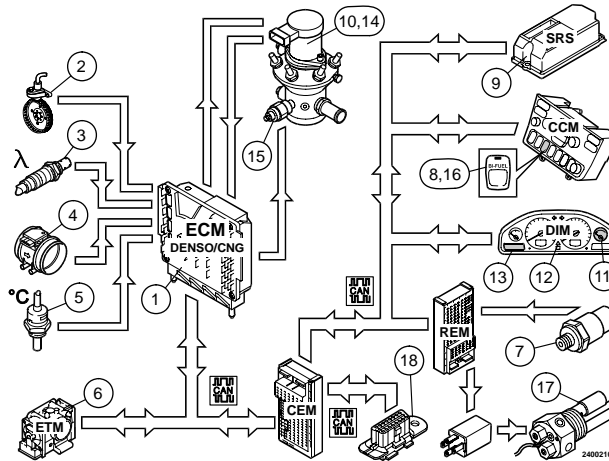
- 5 ohjausyksikkö
- 6 polttoaineenjakaaja
- 7 polttoaineenjakaajan sulkuventtiili

CNG:n säädin toimii samalla periaatteella kuin LPG:n säädin. Rakenne-ero johtuu siitä, että CNG:n säiliöpaine on huomattavasti korkeampi. Paine lasketaan 200 baarista 0,96 baariin.

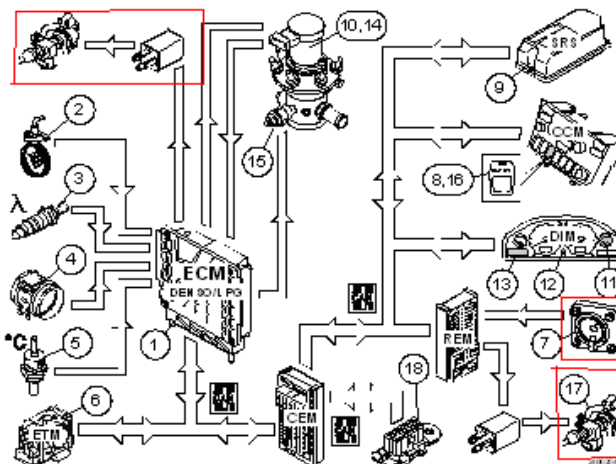
Säiliöpaine lasketaan kahdessa portaassa ja ensimmäinen porras on säädetty 5 baarin ylipaineelle.

Toinen porras on säädetty 0,96 baarin ylipaineelle ja toisen portaan painerajaa voidaan säätää. Ensimmäisessä portaassa on varoventtiili, joka laukeaa 25 baarin paineessa.

Erot hallintajärjestelmässä



Kuva 34 Hallintajärjestelmä CNG /14/



Kuva 35 Hallintajärjestelmä LPG /14/

Yllä oleviin kuvaan on punaisella merkattu LPG –järjestelmän komponenttien erot CNG:hen nähden.

Ohjauksikkö on molemmissa järjestelmissä integroitu normaaliin DENSO moottorinhallintajärjestelmään. Järjestelmien komponenteissa on pieniä eroja, jotka näkyvät hallintajärjestelmässä tulo- ja lähtösignaalien eroina.

Nämä erot on esitetty seuraavissa taulukoissa (taulukot 8 ja 9), joissa on kaikki tulo- ja lähtösignaalit.

Taulukko 8 Tulosignaalit /14/

Nro	Anturi/toiminto	Selitys
1	ECM	Kaasusäätö integroitu.
2	Impulssianturi	Tieto moottorin kierrosnopeudesta.
3	Happitunnistin	Tieto pakokaasujen happipitoisuudesta.
4	Paineanturi (MAP)	Tieto imuputken paineesta.
5	Lämpötila-anturi	Tieto jäähdytysnesteen lämpötilasta.
6	Läpän asentoanturi, ETM	Tieto kaasuläpän asennosta.
7	Säiliöanturi	Antaa tiedot lämpötilasta ja paineesta REM:ille, joka laskee kaasumäärän (CNG). Antaa tiedon polttoaineen määrästä (LPG)
8	Vaihtokytkin CCM:ssä	Bensiini- tai kaasukäytön valinta.
9	SRS	Lähetää tiedon REM:ille kaasuventtiilien sulkemiseksi kolarin yhteydessä (CNG). Lähetää tiedon REM:ille ja ECM:lle kaasuventtiilien sulkemiseksi kolaritilanteessa (LPG).
10	Askelmoottori	Lähetää tiedon, toimiiko askelmoottori vai ei.

Taulukko 9 Lähtösignaalit/ohjatut komponentit /14/

Nro	Anturi/toiminto	Selitys
11	Yhdistelmämittari, polttoainemittari	Näyttää CNG:n määrän säiliössä (CNG). Näyttää LPG:n määrän säiliössä (LPG).
12	Yhdistelmämittari, varoitusvalo	Valo syttyy kaasun ollessa vähissä (CNG). Valo syttyy LPG:n ollessa vähissä (LPG).
13	Yhdistelmämittari, LCD	Varoittaa siirtymisestä bensiinikäytölle. Näyttää huoltoinformaation ja bensiinimäärän.
14	Askelmoottori, polttoaineenjakaaja	Ohjaa askelmoottoria. PWM-signaali.
15	Sulkuventtiili, DFCO	Ohjaa polttoaineenjakaajan venttiiliä.
16	Vaihtokytkin CCM:ssä	Varoitusvalo bensiinikäytöllä.
17	Sulkuventtiili, säiliöt	Ohjaa REM:in kautta relettä, joka aktivoi venttiilit.
18	Diagnosiliitin	

7.2 Bi-fuel hybridijärjestelmän sovitukset bensiinimoottoriin

Kaasujärjestelmien vaatimat sovitukset bensiinimoottoriin ovat: erillisen kaasulaitteiston kytkentä moottoriin, imuilmaa ei esilämmitetä ja bensiinisäiliö on sijoitettu normaalin säiliötilan oikeanpuoleiseen osaan. Lisäksi autot on varustettu ylimääräisellä katalysaattorilla ja normaali happitunnistin on käytössä. Myös pakoputkisto on vaatinut muutoksia tilan saamiseksi isolle kaasusäiliölle. Esimerkiksi äänenvaimentimia on sekä lisätty, että siirretty säiliöiden tieltä. Molemmissa kaasujärjestelmässä kaasusäiliöt on asennettu lattian alle eivätkä siten vähennä matkustus- eikä tavaratilaa. Kuitenkin hieman lisääntyneen painon vuoksi automaattinen tasonsäädin on vakiovaruste.

8 SÄHKÖHYBRIDITYYPIT JA TOIMINTA /13/

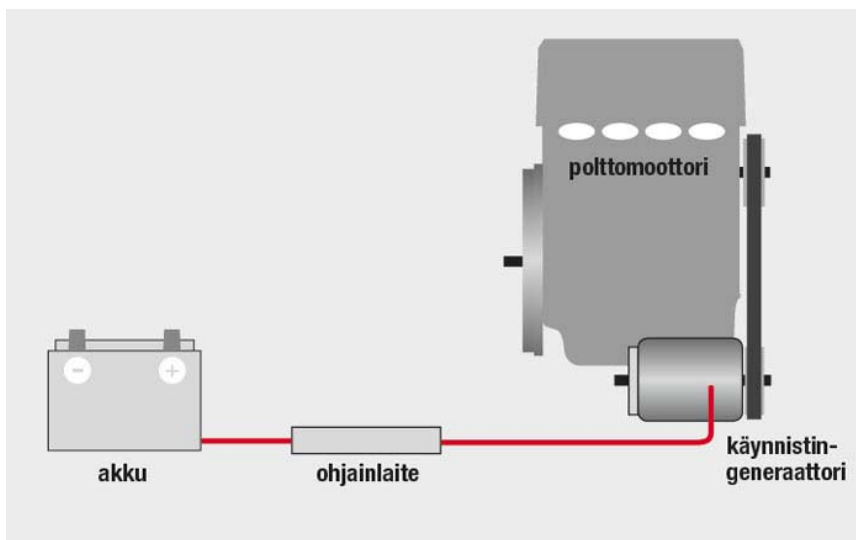
Mikrohybridi

Mikrohybridi (kuva 36) on yksinkertaisimmassa muodossaan pelkkä käynnistysautomaattiikka.

Järjestelmä koostuu hihnakäyttöisestä käynnistingeneraattorista ja sitä ohjaavasta elektroniikkayksiköstä. Moottori sammuu hieman yli 5 km/h nopeudessa. Kun jalka nostetaan jarrulta, generaattori vaihtaa hihnan pyörimissuunnan käynnistyksen ajaksi. Sähköteho 14 V:n järjestelmässä ylittää enimmillään 3 kW:iin. Käytännön säästö lienee viiden prosentin luokkaa, vaikka vilkkaimmassa kaupunkiliikenteessä jopa 15 % leikkaus päästöihin ja kulutukseen on mahdollinen.

Korotetulla 42 V:n jännitteellä varustettuna sähköteho voidaan kohottaa kahdeksaan kilowattiin. Tehoa vaativille kuluttajille, kuten sähköiselle tuulilasin lämmitykselle tai ilmastointilaitteelle, voidaan tällöin syöttää virtaa edullisella hyötysuhteella.

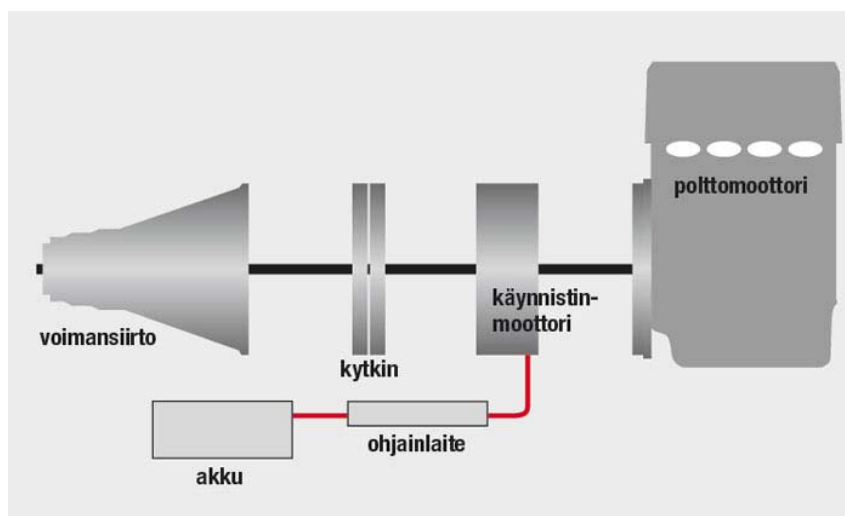
Mikrohybridi voidaan valjastaa myös regeneroimaan moottorijarrutuksessa syntyvä liike-energia talteen, täyshybridien tavoin. Hyödyntäminen vaatii kuitenkin tehokkaan akun.



Kuva 36 Mikrohybridin kaaviokuva /13/

Kevythybridi

Kevythybridi (kuva 37) kuvitellaan nimityksensä (mild hybrid) mukaisesti järjestelmänä, jossa sähköinen tehotuki on polttomoottorille sopuisaa. Yleisin rakenne tästä järjestelmästä on vauhtipyörän muotoon ja sen tilalle asennettu käynnistingeneraattori. Kuten mikrohybridissä, erillinen käynnistin ei ole tarpeen. Tyypillisesti kevythybridin sähköteho vaihtelee välillä 10–20 kW. Tällä sähköteholla saadaan jo varsin hyvä vääntömomenttituki polttomoottorin kiihdytyksiin. Jopa 30% kulutussäästö on mahdollinen tällä järjestelmällä. Keskeistä on se, kuinka voimansiirto pystyy pitämään polttomoottorin jatkuvasti taloudellisella, sopivasti kuormittuvalla alueella. Järjestelmän osien yhteistyö ja akkutekniikka ovat ratkaisevassa asemassa.



Kuva 37 Kevythybridin kaaviokuva /13/

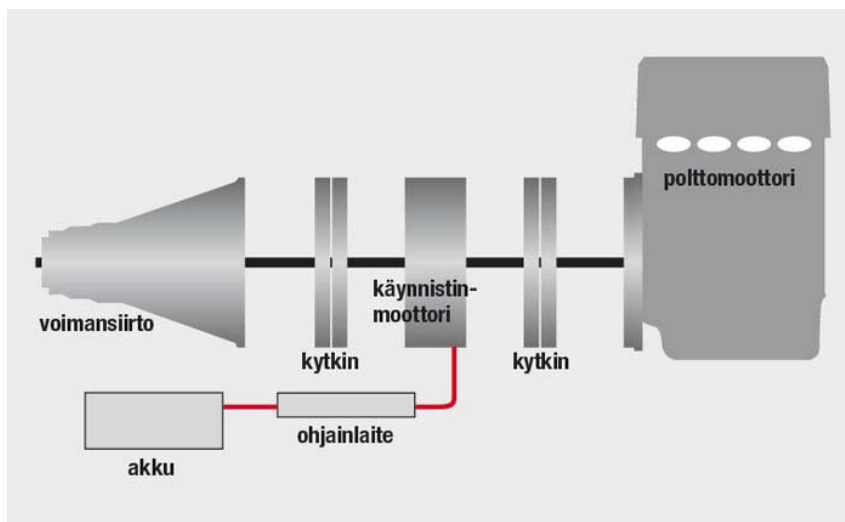
Täyshybridi

Täyshybridistä (kuva 38) käytetään myös nimitystä (strong hybrid).

Sähkömoottorin teho voi autokonseptin luonteesta riippuen olla kaikkea 30:n ja 150 kW:n väliltä. Valinnat riippuvat siitä, pyritäänkö urheilullisuuteen vai taloudelliseen ajamiseen.

Kun sähkötehon osuus kohoaa tasavahvaksi polttomoottorin suhteen, muuttuu järjestelmä voimansiirron osalta rakenteellisesti. Alakäyntialueelle tuleva vääntömomentin lisääntyminen vaatii myös lisämitoituksensa.

Täyshybridi ylittää parhaimmillaan yli 30 prosentin kulutussäästöön. Lisäbonuksena täyshybridissä on mahdollisuus lyhyeen ajoon pelkällä sähköllä – eli nollapäästöin. Tämä vaatii kuitenkin kytkinrakenteen, jolla voimanlähteet voidaan erottaa toisistaan.



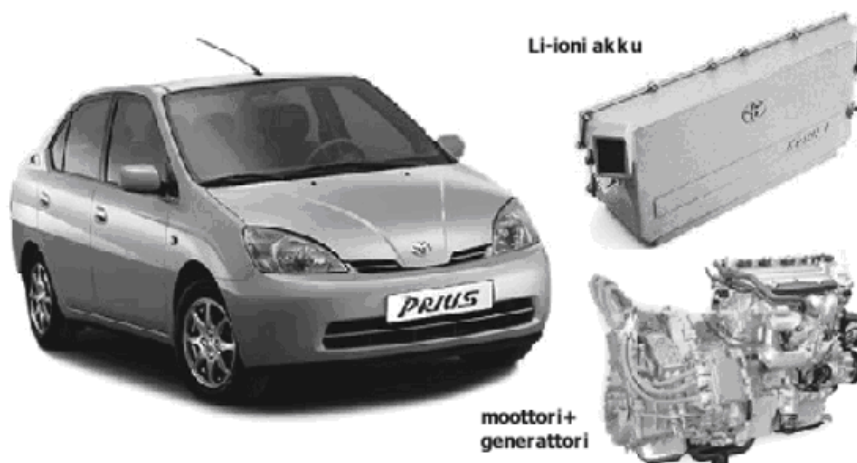
Kuva 38 Täyshybridin kaaviokuva /13/

9 TOYOTA PRIUKSEN HYBRIDIJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA TOIMINTA

Mäntäpolttomoottori ei perusominaisuuksiensa vuoksi ole hyvä auton voimanlähteenä. Vääntömomentti on huono pienillä käyntinopeuksilla eli liikkeelle lähtiessä, jolloin suurempaa vääntömomenttia kaivattaisiin. Siksi Priuksessa on yhdistetty bensiinimoottoriin sähkömoottori, jolle ominaista on antaa paras momentti juuri pienillä kierrosnopeuksilla.

Merkittävin ongelma mäntäpolttomoottorin hyötysuhteen parantamisessa on autokäytössä se, että liikennetilanteet vaihtelevat nopeasti eli tehon tarve muuttuu jatkuvasti. Polttomoottori toimii vain vähän aikaa hyötysuhteen kannalta parhaalla alueella. Elektronisen säätötekniikan kehittämisekään ei saada moottoria toimimaan kaikissa tilanteissa hyvällä hyötysuhteella.

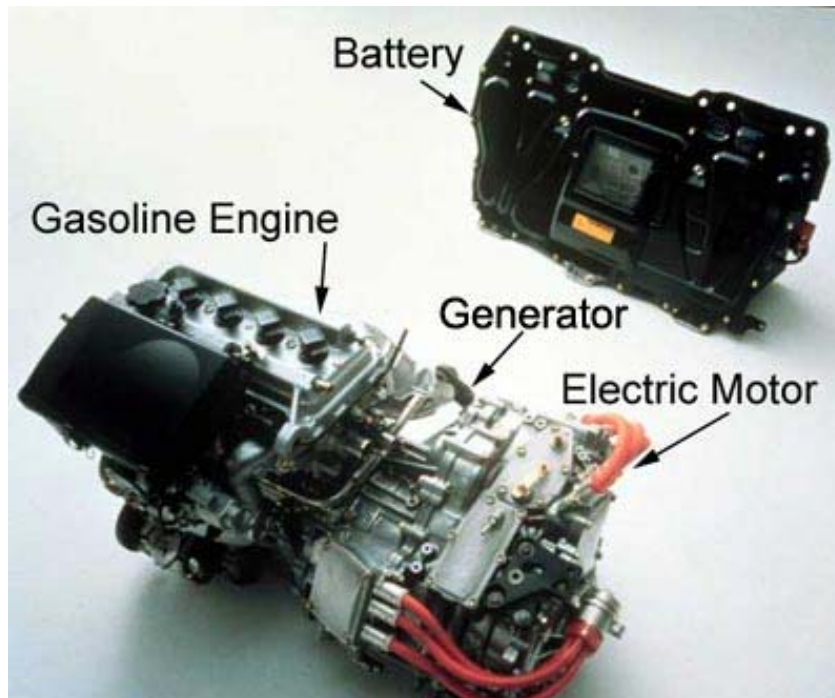
Priuksen hybridissä ajovoimansiirto on sähkökäyttöinen ja polttomoottori on kytketty käyttämään generaattoria sähköntekemiseksi. Tällä bensiini/sähköhybridillä pyritään ensisijaisesti parempien polttomoottorin toiminnan säätöjen luomiseen. Järjestelmän toimitojoja ovat energian talteenotto jarrutuksissa (regeneraatio) sekä pelkästään sähkökäyttöinen ajaminen hetkellisesti.



Kuva 39 Toyota Prius ja hybridijärjestelmän komponentit /15/

Taulukko 10 Tekniset tiedot /1/

Puristussuhde	13,0:1	
Iskutilavuus	1497 cm ³	
	Bensiinillä	Sähkömoottorilla
Teho	57 kW(77hv)/5000 r/min	50 kW(68hv)/1200-1540 r/min
Vääntömomentti	115 Nm/4000 r/min	400 Nm/0-1200 r/min
Huippunopeus	170 km/h	
Kiihtyvyys 0-100 km/h	10,9 s	
Kulutus (kaup./maantie/yhd.)	5,0/4,2/4,3 L/100 km	
Hiilidioksidipäästöt (kaup./maantie/yhd.)	115 g/km /99 g/km /104 g/km	
Hinta	39 800 €	
Hinnat alkaen Suomessa sis. veron		



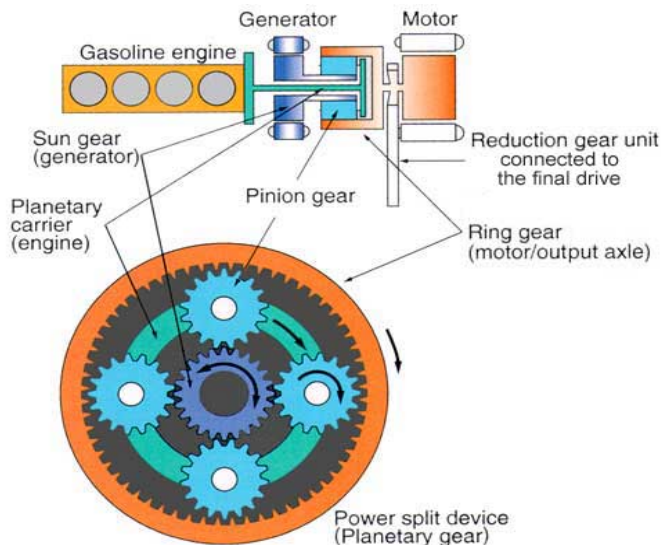
Kuva 40 Hybridijärjestelmän osat /12/

Yllä olevasta kuvasta 40 nähdään, että koko hybridijärjestelmä on kompakti paketti.

Priuksessa on 1.5 litrainen 4-sylinterinen bensiinimoottori, erikoisgeneraattori moottorin jatkeena (toimii myös starttimoottorina), planeettapyörästö, joka yhdistää generaattorin ja bensiinimoottorin vetäviin pyöriin, sähkömoottori, joka myös on yhteydessä vetäviin pyöriin, sekä nimellisjännitteeltään 201,6V nikkeli-metallihybridi akku, jossa moduuleja on 28 kappaletta ja kapasiteetti on 6,5Ah eli tunneissa 3h. Akun massa on 39 kg ja se on sijoitettu takaistuimen taakse lattiaan. Voimansiirto on toteutettu elektronisesti ohjatulla muuttuvavälityksisellä portaattomalla vaihteistolla.

Sähkömoottorin nimellisjännite on 500V ja kyseessä on kestomagneetti synkronimoottori. Sähkömoottori painaa vaihteiston kanssa yhteensä 104 kg.

Voimansiirto



Kuva 41 Kaaviokuva voimansiirrosta /12/

Kuvassa 41 on Toyota Priuksen bensiinimoottorin ja sen jatkeena olevan lisälaitteiston kaaviokuva. Siitä nähdään, kuinka kolme komponenttia (bensiinimoottori, generaattori, sähkömoottori) on kytketty planeettapyörästä avulla toisiinsa. Bensiinimoottori on kytketty planeetankannattimeen, generaattori on kytketty aurinkopyörään ja ulostuloakseliin ja sähkömoottori on kytketty kehäpyörään. Planeettapyörästä toimii portaattomana vaihteistona, josta voima välittyy ketjuvälityksen ja pyörimissuuntaa muuttavan hammasvälityksen kautta vetopyörästä.

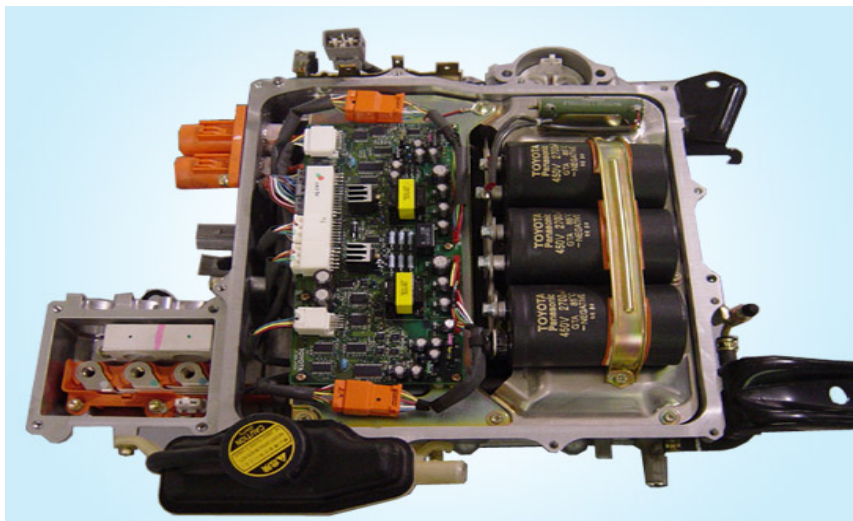
Tämä ketjun ja hammasvälityksen käsittävä voimansiirtolinja on suorassa yhteydessä planeetan kehäpyörään ja siihen kytkettyyn sähkömoottoriin, joten sähkömoottori pyörii aina kiinteässä suhteessa vetävien pyörien kanssa. Tästä syystä auton peruuttaminen tapahtuu sähkömoottorin avulla. Polttomoottorin ja generaattorin pyörimisnopeudet eivät ole suorassa suhteessa auton nopeuteen vaan riippuvat ajotilanteesta.

Jos generaattorilla ei ole kuormaa, niin bensiinimoottori pyörittää generaattoria planeettavälityksen kautta, eikä pysty liikuttamaan autoa. Tämä tilanne on, jos vaihteenvalitsin on vapaalla tai pysäköintiasennossa. Jos generaattorilla on kuormaa joko akun lataamiseksi tai sähkömoottorin käyttämiseksi, niin osa bensiinimoottorin tehosta ohjataan planeettapyörästä läpi vetäville pyörille. Planeettavaihteisto siirtää mekaanista voimaa vetäville pyörille suhteessa

generaattorin jarruttamiseen eli voiman muuttamiseen sähköksi. Eli mitä enemmän generaattori jarruttaa, sitä enemmän mekaanista voimaa siirretään vetäville pyörille.

Säännöstelemällä generaattorin kuormaa, saadaan bensiinimoottorin kierrokset pidettyä tasaisina sen aikaa, kun vaihdetta vaihdetaan.

Jännite- ja taajuusmuuntimet



Kuva 42 Jännite- ja taajuusmuuntimet /12/

Generaattori tuottaa 500 voltin kolmivaihesähköä, joka soveltuu sellaisenaan sähkömoottorille. Kun halutaan varastoida sähköä akkuun, joudutaan jännite muuttamaan 201,6 volttiin ja tasasuuntaamaan se, eli muuttamaan tasasähköksi. Kun halutaan käyttää akusta saatavaa sähköä, joudutaan tasasähkö muuttamaan vaihtosähköksi ja nostamaan sen jännite 500 volttiin.

Tätä työtä hoitavat hybridivoimalaitepaketin yhteydessä olevat jännite- ja taajuusmuuntimet (kuva 42).

Auton perinteisen 12 voltin sähköjärjestelmän virran tuottamiseksi on jännitemuunnin, joka muuttaa korkeajänniteakun 201,6 voltia 12 voltiksi.

Käynnistäminen /11/

Prius käynnistetään painonapista, jolloin 12 voltin jännitettä tarvitaan tietokoneen käynnistämiseen. Tämän jälkeen auto on valmiustilassa ja valmis ajettavaksi. Noin kymmenen sekunnin kuluttua valmiustilan saavuttamisesta polttomoottori ICE (Internal Combustion Engine) käynnistyy.

Polttomoottorin käynnistysmoottorina toimii 38 kW generaattori jonka tehtävänä on myös ladata akkuja auton liikkuesssa. Perinteistä käynnistysmoottoria Priuksessa ei ole. Tietokone valvoo ajoakun varaustilaa pitäen sen jatkuvasti 40 prosentin ja 80 prosentin välillä.

Generaattori toimii siis myös starttimoottorina. Käynnistettäessä VVTi-tekniikka kasvattaa venttiilien yhteistä aukioloaikaa vähentääkseen puristuksia.

Tämän jälkeen generaattori/sähkömoottori kierrättää bensiinimoottoria noin 1000 kierr/min nopeudella. Heti kun moottori pyörii tätä kyseistä nopeutta, niin VVTi-tekniikka palauttaa puristukset moottoriin samanaikaisesti kipinän ja polttoaineannoksen kanssa. Näin moottori käynnistyy tasaisesti ja toiminta sähkömoottorin kanssa on sulavaa.

Akut /11/

Priuksessa on kaksi akkua, joita molempia tarvitaan auton käynnistämiseen. Ajoakku on nimellijännitteeltään 201,6 voltia oleva nikkelimetallihydridiakku ja se koostuu 168 kennosta, jotka ovat napajännitteeltään 1,2 voltin arvoisia. Kennot on jaettu 28:aan moduuliin. Akun valmistaja on Panasonic EV Energy ja se on Toyota Motor Corporationin ja Matsushita Electric Industrial Co:n yhteistyöyritys.

Toinen akku on normaali 12 voltin lyijyakku ja se on suuruudeltaan 36 Ah. Akku ei voi käytännössä koskaan mennä tyhjäksi, sillä hybridijärjestelmän sammuttamisen jälkeen se suljetaan releillä pois auton muusta sähköjärjestelmästä. Auton monitoiminäytössä on ajoakun varaustilan näyttö ja vaikka yhtään varauspalkkia ei näytössä olisi näkyvillä, on varaus silti noin 40 prosenttia.

Kylmä ilma ei ole nikkelimetallihydridiakuille ongelma, vaan akut sekä ottavat varausta vastaan, että luovuttavat sitä paremmin kylmässä ilmassa. Kuuma ilmasto ja ajo kuumassa rasittaa akkuja huomattavasti enemmän.

Priuksen akuille on tehty laskennallinen ennuste kestoikästä. Sen mukaan akkujen kapasiteetti on vielä noin 200 000 kilometrin ajon jälkeen 80%. Tätä kapasiteetin alenemaa ei käytännössä huomaa mitenkään. Akkupaketilla ja kaikilla hybridijärjestelmään kuuluvilla osilla on kahdeksan vuoden tai 160 000 kilometrin takuu.

201,6 voltin ajoakku ei ole mahdollista ladata, vaan auton tietokone huolehtii sen varaustasosta ajon aikana automaattisesti. Suomessa Priuksesta joutuisi maksamaan käyttövoimaveron, mikäli ajoakun lataus olisi mahdollista ulkopuolista latauspistoketta käyttäen.



Kuva 43 Akusto takaistuimen takana /11/

Käynnistyminen /11/

Toyota Priuksen THS II-järjestelmän käynnistyminen tapahtuu neljässä vaiheessa. Hybridijärjestelmä nousee siis täyteen käyttövalmiuteen vähitellen. Heti starttauksen jälkeen auto on ajokunnossa, mutta kuljettajan on hyvä tietää, että auto ei ole taloudellisimmillaan ennen kuin järjestelmä on täysin käynnistynyt. Pääasiallisesti järjestelmän käyttötasoon vaikuttaa jäähdytysnesteen lämpötila, mutta myös ajonopeus ja pysähdyksien pituus. Noin kymmenen asteen pakkasessa Prius on täysin lämmennyt vasta noin 25 minuutin kaupunkiajon jälkeen.

Kulutus /11/

Priuksen suunnittelun lähtökohtana on ollut pienet pakokaasupäästöt. Päästöjen pitämiseksi pieninä, järjestelmä lämmittää toisinaan bensiinimoottoria jopa liikennevaloissa seistessä. Mikäli tavoitteena olisi vain pieni kulutus, näin ei tapahtuisi.

Prius on kuin mikä tahansa automaattivaihteinen auto, eikä hybridijärjestelmä vaikuta normaaliin ajoon mitenkään. Kaupunkiajossa hybridi on taloudellisimmillaan ja tällöin on mahdollista päästä jopa alle neljän litran keskikulutukseen.

Avain pieneen kulutukseen on hybridijärjestelmän hyödyntäminen ja sen ominaisuuksien tunteminen. Ripeä kiihdytys noin 50 km/h nopeuteen ja sen jälkeen kaasupolkimen pieni kevennys. Hybridijärjestelmä ottaa ohjat ja auto menee tilaan, jossa ajetaan vain akkukäytöllä. Nopeus putoaa vain muutaman kilometrin, mutta kulutus putoaa noin 2,5 litraan/100 km. Ripeä kaasunpaine kääntää taas polttomoottorin. EV- eli akkukäyttö on myös mahdollista valita kojetaulun kytkimellä, mutta toiminto ei mene päälle jos auto ei ole täysin lämmennyt tai jokin suuri sähkön kuluttaja esim. ilmastointi tai takalasin lämmitys on päällä. EV-tilassa polttomoottori ei rauhallisesti ajaen käynnisty lainkaan. Tällä tavoin voi ajaa suotuisissa olosuhteissa enintään 2 km matkan. EV-toiminnolla voi ajaa kotoa esimerkiksi lähellä sijaitsevalle valtatielle ja suorittaa moottorin lämmittämisen vasta siellä. Tällä tavoin säästyy polttoainetta, kun moottori lämpenee taloudellisella kierrosnopeudella.

Huolto /11/

Hybriditekniikan vuoksi käyttäjä joutuu turvautumaan auton ylläpidossa Toyota-organisaatioon. Normaalit huoltohinnat ovat kuitenkin vertailukelpoisia muun Toyota-malliston kanssa. Kerran vuodessa tai 15 000 kilometrin välein tehtävä öljynvaihto riittää. Tulpat vaihdetaan ensimmäisen kerran kun ajettu on 90 000 km. Jäähdytysneste vaihdetaan ensimmäisen kerran 160 000 kilometrin jälkeen ja siitä eteenpäin 80 000 kilometrin välein.

9.1 Toyota Priuksen moottorin työkierto /4/

Priuksen bensiinimoottorissa käytetään Atkinson-työkiertoa. Tässä työkierrossa työtahtia eli pakokaasujen paisuntaa on pitkitetty ja pakoventtiili aukeaa normaalia myöhemmin. Pumppaushäviöiden pienentämiseksi myös imuventtiili sulkeutuu normaalia myöhemmin. Sulkeutuminen tapahtuu puristustahdin puolivälissä, jolloin imuventtiileistä virtaa seosta takaisin imusarjaan ja toisiin sylintereihin. Tällä takaisinvirtauksella lasketaan todellista puristussuhdetta ja saadaan moottorin koko ikään kuin pienemmäksi puristustahdissa. Kun tämä yhdistetään edellä mainittuun pitkään paisuntaan, saadaan polttoaineen energia käytettyä tehokkaammin hyväksi työtahtin aikana. Priuksen kohdalla teho

jää moottorin kokoon nähden alhaiseksi. Syynä tähän on kaasunvaihto tai lähinnä pakokaasujen poisto, joka ei ehdi tapahtua korkeilla kierroksilla. Moottorista otettava suurin teho tuleeekin jo 5000 r/min kohdalla. Tavanomaisella ottomoottori-työkierrolla moottorista olisi saatavilla 73kW/6500 r/min kohdalla. Moottorista ei ole lähdetty hakemaan suurta tehoa vaan on tyydytty taloudellisuuteen pyrkivään kompromissiin, joka toimii yhdessä lisälaitteiston kanssa parhaiten. Tätä tehokkaampaa versiota on ollut käytössä Prius GT-koemalleissa.

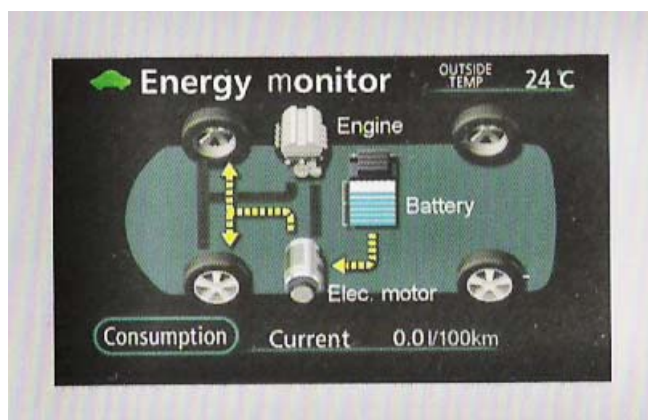
9.2 Hybridijärjestelmän toiminta kaaviokuvin esitettynä /1/



Kuva 44 Akun varaus /1/

1. Akun varauksen ylläpitotilanne

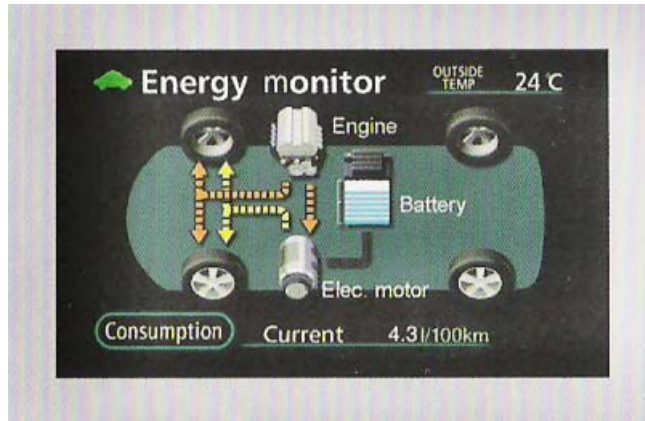
Korkeajänniteakun lataus pidetään automaattisesti säädetyllä tasolla. Latauksen ylläpito tapahtuu latauksen laskiessa automaattisesti käynnistyvällä generaattorilla. Auton ollessa paikallaan, moottori pysäytetään.



Kuva 45 Sähkökäyttö /1/

2. Sähkökäyttötilanne

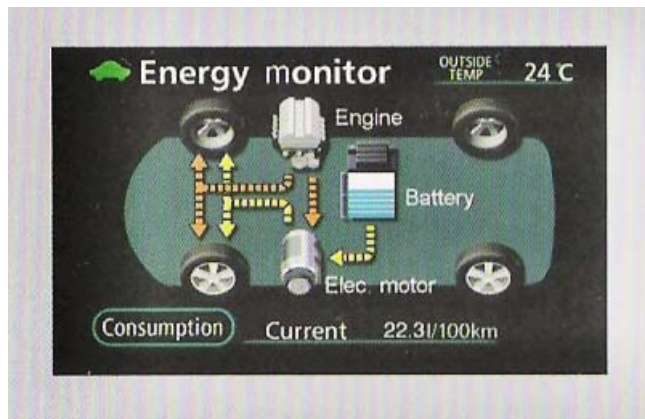
Paikaltaan liikkeelle lähdettäessä ja alhaisilla ajonopeuksilla ajettaessa, auto liikkuu ainoastaan sähkömoottorin voimalla. Tästä syystä esimerkiksi kaupunkiolosuhteissa auto on varsin hiljainen ajettava.



Kuva 46 Ajo vakionopeudella /1/

3. Vakionopeuksinen ajotilanne

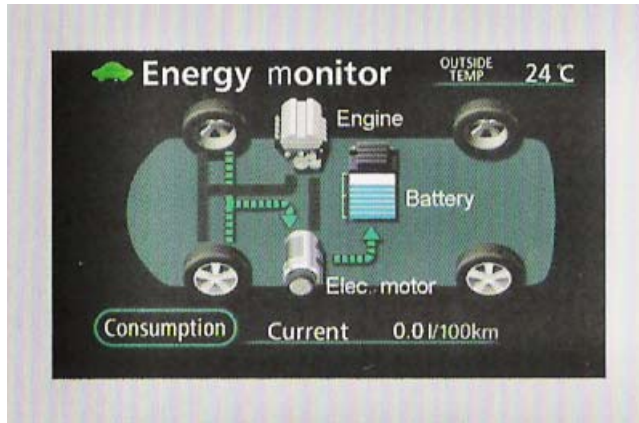
Kun ajetaan normaaleissa ajo-olosuhteissa, niin bensiinimoottori käyttää generaattoria ja välittää samalla voimaa suoraan etupyörille. Generaattori puolestaan tuottaa virtaa sähkömoottorille.



Kuva 47 Kiihdytys /1/

4. Kiihdytystilanne

Äkilliseen kiihdytykseen tarvittava lisäteho otetaan korkeajänniteakusta bensiinimoottorin avustaessa sähkömoottoria tehokkaan voimansiirtojärjestelmän välityksellä.



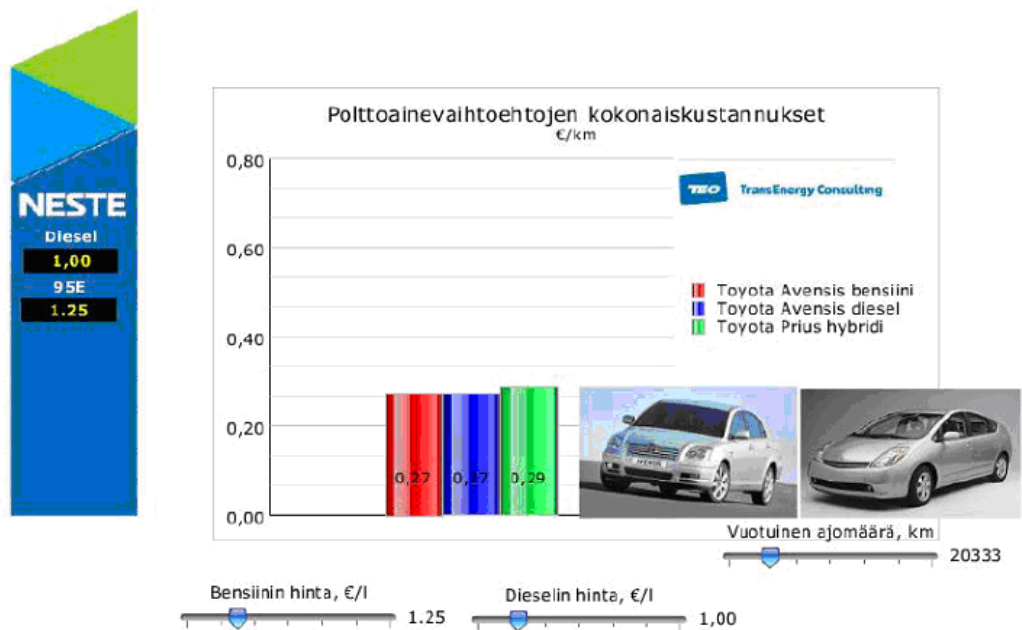
Kuva 48 Jarrutus /1/

5. Jarrutustilanne

Nopeutta hidastettaessa tai jarrutettaessa sähkömoottori toimii suuritehoisena generaattorina säädellen voimanjakoa pyörille. Regeneratiivinen jarrujärjestelmä ottaa liike-energian talteen sähköenergiana ja varastoi sen korkeajänniteakkuun.

10 VUOSITTAISET KOKONAISKUSTANNUKSET

10.1 Polttoainevaihtoehtojen kokonaiskustannukset



Kuva 49 Polttoainevaihtoehtojen kustannusvertailu /8/

Kuvassa 49 olevassa Neste Oy:n teettämässä tutkimuksessa on vertailtu kokonaiskustannuksia bensiinimoottorisen ja hybriditeknikalla varustetun välillä. Testiin on valittu yleiset polttoainehinnat ja ajomääräksi Suomessa keskitasoa oleva kilometrimäärä (20 333km). Näillä arvoilla on saatu koko vuoden ajalle yhtä kilometriä vastaava rahasumma euroina. Tämän perusteella hybriditeknikalla

ajaminen tulee maksamaan 0,02 euroa/kilometri enemmän kuin bensiinimoottorilla varustetulla autolla. Bensiinin hinta kuitenkin kokee suurempia heilahteluja, kuin kaasun hinta, joten vuositasolla hybriditeknikalla päästään polttoainekuluissa samaan tasoon bensiinin kanssa.

10.2 Kokonaisvuosikustannukset Volvo Bi-fuel

Alla olevaan taulukkoon 11 on kerätty kaikki henkilöautoon kohdistuvat vuosittaiset kustannukset. Arvoista nähdään, että hybridi-auton hankintahinta, verot ja polttoainekulut yhteenlaskettuna jäävät vastaava bensiinimoottorilla tai dieselmoottorilla varustettua autoa alhaisemmiksi.

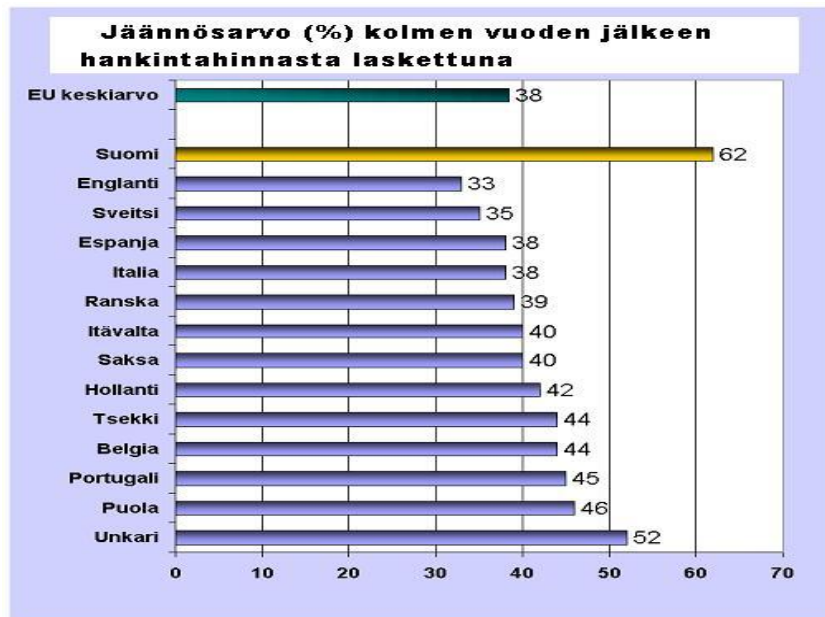
Taulukko 11 Kokonaiskustannukset (Volvo Bi-fuel) /13/

Volvo S60/V70 2.4 Bi-Fuel - kustannukset			
	V70 2.4	V70 2.4 Bi-Fuel	V70 2.4D 163 hv
Hinta	39 100 e	42 700 e	46 600 e
Ajoneuvovero	127,75 e	127,75 e	127,75 e
Käyttövoimaverot	-	-	415,74 e
Verot/vuosi yht.	127,75 e	127,75 e	543,49 e
Yhd. EU-kulutus	9,0 l/100 km	6,85 kg/100 km	6,6 l/100 km
Polttoaineen hinta	1,280 e/l	0,90 e/kg	1,030 e/l
Käyttökustannus vuodessa (verot ja polttoaineet)			
ajomatka:			
25 000 km	3 008 e	1 498 e	2 243 e
50 000 km	5 888 e	2 888 e	3 942 e
100 000 km	11 648 e	5 608 e	7 341 e
Kokonaiskustannus kolmessa vuodessa (hankintahinta, verot ja polttoaine)			
ajomatka:			
75 000 km (25 tkm/v)	48 123 e	47 193 e	53 329 e
150 000 km (50 tkm/v)	56 763 e	51 304 e	58 427 e
300 000 km (100 tkm/v)	74 043 e	59 524 e	68 624 e

10.3 Autoverotuksen vaikutukset auton arvon alentumiseen

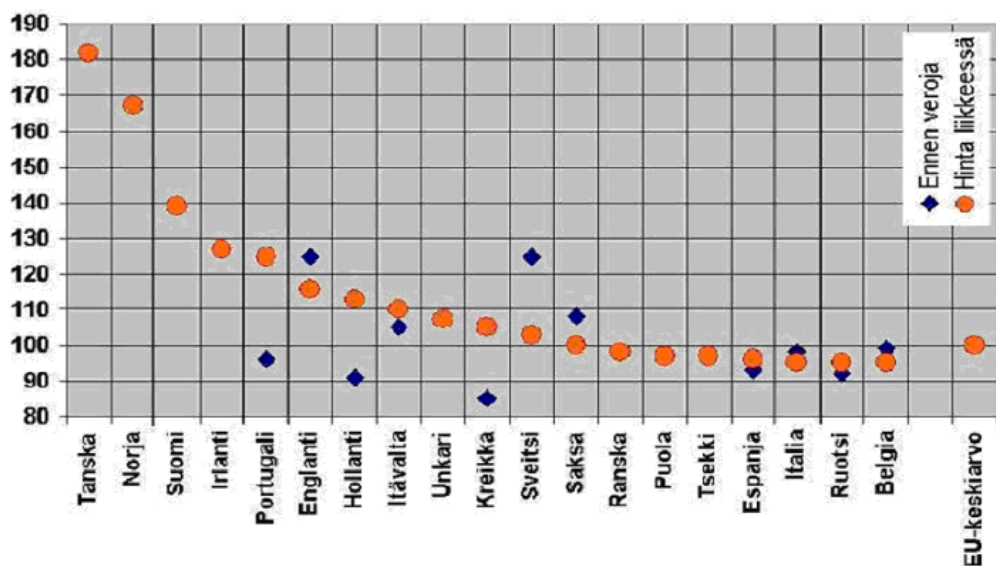
Kun otetaan huomioon vielä Suomessa käytettyjen autojen hinnat verrattuna muihin Euroopan maihin, niin täällä auton arvo ei putoa läheskään yhtä nopeasti kuin esimerkiksi Saksassa, jossa auton arvo putoaa kolmen vuoden aikana 60%, kun luku Suomessa on 38%. Johtuen korkeasta autoverotuksesta autot ovat täällä kalliimpia vielä kolmen vuoden jälkeen, kuin muualla Euroopassa. Tässäkin valossa hybridi-auton ostaja saa auton pois myydessään ihan kelpon hinnan. Sama koskee tietysti vastaavaa bensiinimoottorilla varustettua, mutta luontoystävällistä autoa arvostetaan joka tapauksessa enemmän ja se näkyy jälleenmyyntihinnoissa.

Seuraavassa kuvassa (kuva 50) on esitettyä autojen jäännösarvoja Euroopan alueella ja tällä listalla ykkösenä loistaa Suomi. Autoverotuksen mahdollisesti keventyessä ilmenee uhkakuvia, joissa auton arvon aleneminen olisi nopeampaa.



Kuva 50 Auton jäännösarvo 3 vuoden jälkeen eri maissa /13/

Uusien autojen hintaerot EU-alueella maittain ovat todellisuudessa huomattavan suuria. Vuoden 2006 lokakuussa vallinnutta tilannetta havainnollistaa alla oleva kuva 51. Kun uusien autojen keskimääräistä hintatasoa EU:n alueella kuvataan luvulla 100, Tanskan hintataso (korkein) yltyä tasolle 180 ja Suomenkin jää tasolle 140. Ruotsi, Italia ja Belgia ovat hintatasoltaan edullisimmat maat.



Kuva 51 Uusien autojen hintaerot EU-alueella /13/

11 PÄÄSTÖT

Maakaasu on ympäristöystävällisin fossiilinen polttoaine. Sen käytöstä eli poltosta ei aiheudu lainkaan rikkidioksidipäästöjä. Kaasumaisen olomuodon ansiosta ei liioin muodostu hiukkas- ja raskasmetallipäästöjä eikä tuhkaa. Myös syntyvien hiilidioksidin ja typenoksidien määrät ovat vähäisempiä muihin polttoaineisiin verrattuna.

Maakaasun alhaisen hiilipitoisuuden ja suuren vetypitoisuuden ansiosta syntyvät hiilidioksidipäästöt (CO₂) ovat huomattavasti pienemmät kuin muilla fossiilisilla polttoaineilla. Maakaasun poltossa syntyvä ominaishiilidioksidipäästö on 55 g/MJpa(=grammaa per poltettu energiayksikkö Mega Joule), kun se esimerkiksi hiilellä on 93 g/Mjpa.

Hiilivedyt ovat yksinkertaisia kemiallisia yhdisteitä, joissa on vain hiiltä (C) ja vetyä (H). Yksinkertaisimpiin hiilivetyihin lukeutuvat metaani, etaani, propaani ja butaani. Ne ovat myös puhtaimmat hiilivedyt, joten niiden ympäristöedut tavanomaisiin polttoaineisiin verrattuna ovat suuret. Kaasun palamisesta yleensäkin syntyy hyvin pieniä pakokaasupäästöjä. Henkilöautoista katalysaattorin jälkeen mitattuja päästöarvoja on kerätty seuraavaan taulukkoon (taulukko 12).

Taulukko 12 Pakokaasupäästövertailu /1/

Päästöt [g/km]	CO	HC	NO _x
EURO 2005/EURO4	1,0	0,10	0,08
Bensiini	0,35	0,053	0,035
CNG	Vähemmän	Vähemmän	Vähemmän
LPG	Vähemmän	Vähemmän	Vähemmän

Maakaasulla ja biokaasulla on bensiiniä alhaisempi ominais-CO₂ tuotto (g/MJ). Esimerkiksi korvattaessa bensiiniä maakaasulla, hiilidioksidipäästöt alenevat noin 25%. Jäteperäisellä biokaasulla on vieläkin parempi hiilidioksiditaso.

Kuva kertoo maakaasun valmiuksista tulevien päästönormien täyttämiseksi.

Kuvattuna (kuva 52) on EURO 4 tasoisen bensiinimoottorin päästöjen tulos ja EURO 5 tasoisen maakaasua käyttävän moottorin päästötulos. Kuvan 52 mittaus tulosten mittauskohdasta ei ole varmaa tietoa (ennen vai jälkeen katalysaattorin). Katalysaattorilla on suuri vaikutus tuloksiin.

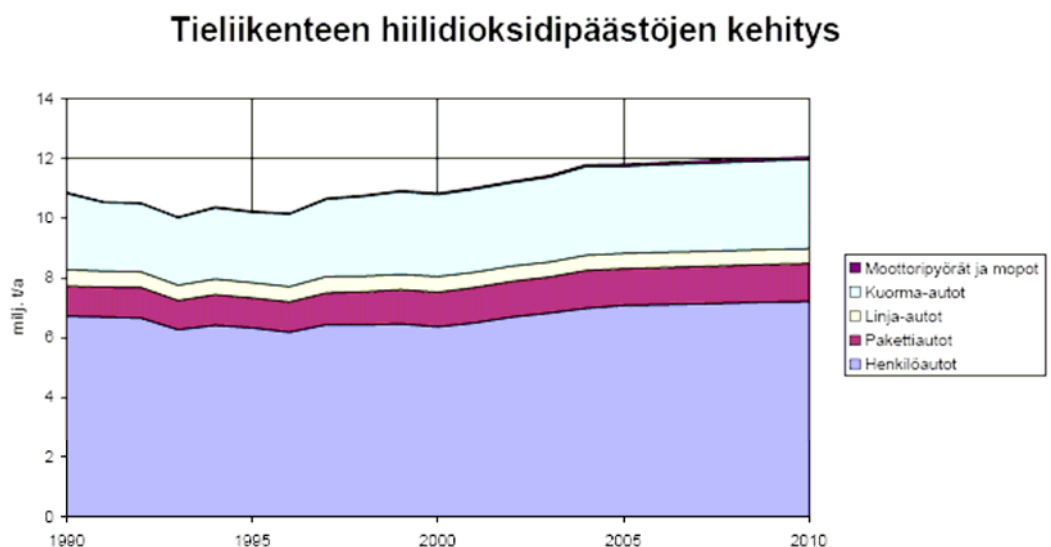


Kuva 52 Päästöjen vaikutus /8/

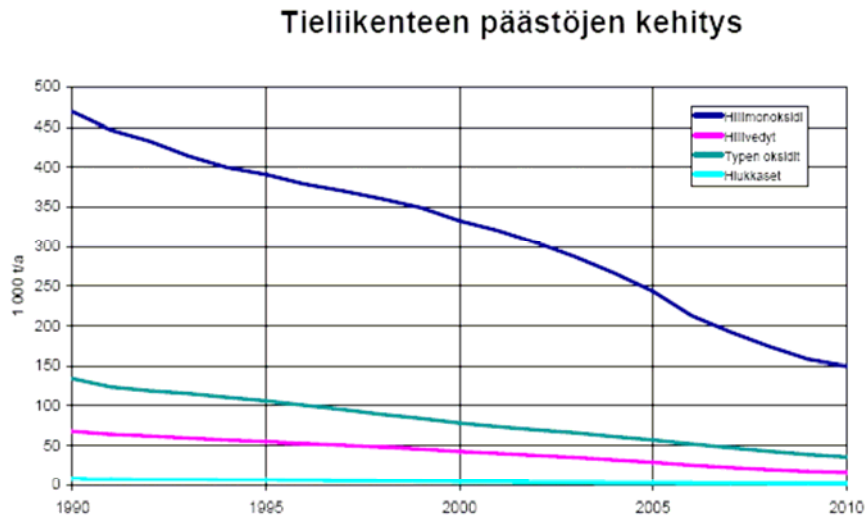
Liitteissä sivulla 2 on kaavio, jossa esitetään minkälaisiin energiapanoksiin ja kasvihuonepäästöihin erilaiset polttoaine- ja energiaketjut johtavat, ja mikä on lähitulevaisuuden kehitysvara (liite 2).

VUOSITTAISET PÄÄSTÖT

Tieliikenteen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt ovat olleet nousussa vuoden 1995 jälkeen (kuva 53). 1990-luvun alussa mahdollisesti lama-aika aiheutti päästöjen laskun. Vuosien 1995 ja 2000 välillä hiilidioksidipäästöt nousivat ja lopulta laskivat paremman moottoritekniikan sekä tehokkaampien pakokaasujen puhdistusjärjestelmien ansiosta. Vuodesta 2000 lähtien hiilidioksidipäästöt ovat nousseet kaikissa ajoneuvoluokissa ja ennustetaan kasvavan ainakin vuoteen 2010 asti. Suurin aiheuttaja lienee ajoneuvomäärien nopea kasvu.



Kuva 53 Hiilidioksidipäästöjen kehitys tieliikenteessä /10/

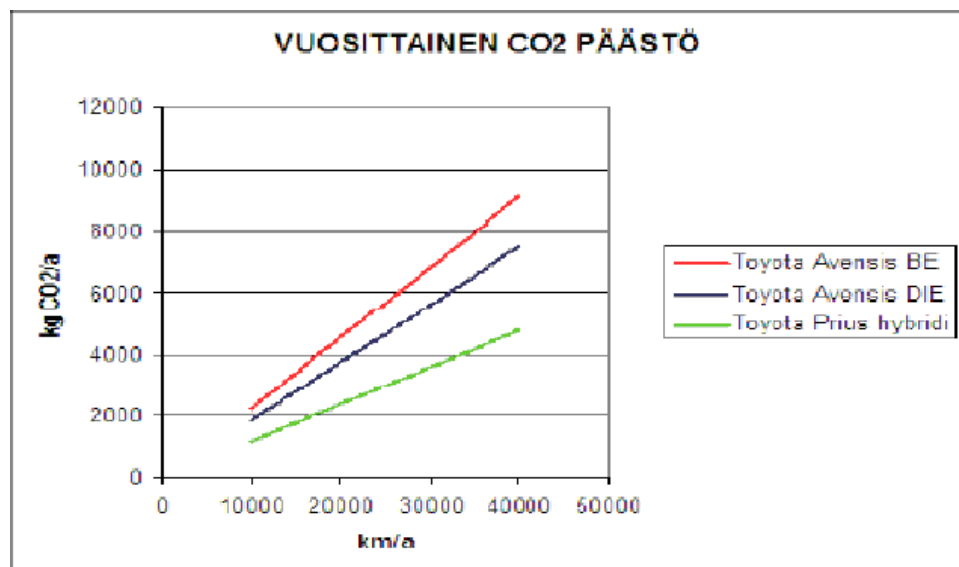


Kuva 54 Päästöjen kehitys /10/

Kuvan 54 esittämät käyrät kuvaavat tieliikenteen päästöjen muutosta vuosina 1990-2010. Hiilimonoksidi, hiilivedyt, typen oksidit ja hiukkaset on saatu vähemmän vuosien aikana, kehittämällä moottoritekniikkaa ja päästöjenhallintaa. Näiden päästöjen osuuden ennustetaan laskevan tasaisesti vuoteen 2010 asti. Samaa ei siis voi sanoa hiilidioksidista.

Toyota Prius

Vuosittain kertyvät ajomäärästä riippuvaiset hiilidioksidipäästöt, tuovat esiin selvän eron bensiinimoottorin ja bensiini/sähkö-hybridin välille. Vertailussa olevien Toyota-mallien Avensis ja Prius väliin jää noin 4000 kg hiilidioksidipäästöjä, kun ajomäärä lähentelee 40 000 kilometriä.



Kuva 55 CO₂-päästöt ajomäärän funktiona (Avensis/Prius) /9/

12 HYBRIDIEN LISÄÄNTYMISEN EDISTÄMISKEINOT /9/

Maailmassa on käytössä monia keinoja luontoa säästävien ajoneuvojen lisäämiseksi. Pääpiirteissään keinot voidaan jakaa muutamaan pääryhmään:

- hankintojen tukeminen tai niihin pakottaminen
- käyttöön vaikuttaminen joko kannustimin tai pakottein
- ajoneuvojen ylläpitoon vaikuttaminen (retrofit-toiminta)

Gasum Oy on selvittänyt Euroopassa käytössä olevia hybridautojen myynnin kasvuun suunnattuja kannustinmuotoja:

- Polttoaineveron vapautus maakaasun osalta eli siitä ei maksettaisi lainkaan veroa. Näin hybridauton omistaja voi luottaa siihen, että polttoaineen hintaetu ei katoa hetkessä.
- Hankintaa voidaan taloudellisesti tukea ja korvata esimerkiksi hybridauton ostosta koituvat lisäkustannukset hyvityksenä siitä, että he ovat valmiita käyttämään maakaasua vaihtoehtoisena polttoaineena.
- Alennuksia voidaan antaa myös autoedun verotusarvossa. Näin saadaan taloudellisesti houkutteleva vaihtoehto yritysautoa valitseville. Verotusarvoa tulisi siis alentaa suhteessa bensiini- ja dieselkäyttöisiin autoihin.
- Kaupunkiajoon mahdolliset erivapaudet. Eli myönnetään hybridautoilla ajaville vapautus pysäköintimaksuista ja mahdollisista ruuhkamaksuista, sekä oikeus ajaa bussikaistaa ruuhka-aikana.
- Alennuksia voidaan antaa myös vuosittaisesta käyttömaksusta ja vakuutusmaksuista. Tällä tavoin luodaan lisäarvoa hybridauton hankinnalle.

Näistä helpotuksista hybridauton hankinnassa toivotaan löytyvän Suomeenkin ratkaisu, jolla saadaan hybridit yleistymään enemmän. Pääkaupunkiseutu on avainasemassa, kun ratkotaan ajoneuvo- ja polttoaineverotukseen liittyviä helpotuksia. Nimittäin juuri pääkaupunkiseudulla ovat pahimmat liikenteestä aiheutuvat ilmanlaatuongelmat. YTV:n tekemien mittauksien mukaan pääkaupunkiseudun mittauspisteistä useimmissa ollaan päästöissä tyydyttävällä tasolla, joissakin mittauspisteissä välttävän rajoilla. Liikenteen aiheuttamia päästöjä ovat erikokoiset hiukkaset (PM), hiilimonoksidi eli häkä (CO), typen oksidit (NO_x), hiilivedyt (HC) ja hiilidioksidi (CO₂). Kaupunki-ilman epäpuhtauksia ovat hiukkaset (PM), typpidioksidi (NO₂), otsoni (O₃), hiilimonoksidi (CO), bentseeni (C₆ H₆) ja rikkidioksidi (SO₂).

Liikenteestä aiheutuu hiukkaspäästöjä pakokaasuhiukkasten ja pölyhiukkasten muodossa. Dieselmoottoreissa syntyy enemmän pakokaasuhiukkasia, kuin bensiinimoottoreissa. Dieselkäyttöisestä tavaraliikenteestä aiheutuu noin 50% kaikista pakokaasuhiukkasista, kaupunkibusseista noin 15% ja henkilöautojen

osuus on vajaa 20%. Nämä YTV:n tutkimustulokset osoittavat, että raskas liikenne aiheuttaa suurimman osan pääkaupunkiseudun ilmanlaatuongelmista.

Euroopassa puhtaampia ajoneuvoja edistetään rajoittamalla vanhempien autojen liikkumista tietyillä kaupunkien ”vihreillä alueilla”. Systemi on käytössä ainakin 20 kaupungissa ja kehittyneimmät versiot ovat käytössä Ruotsissa, Tanskassa, Englannissa ja Hollannissa.

Italiassa vuonna 2006 rajoitettiin bensiinikäyttöisten autojen liikennettä mm. Roomassa ja Milanossa erityisen huonon ilmanlaadun vuoksi. Hybridit sen sijaan liikennöivät normaalisti.

Ruotsi on kelpo esimerkki siitä, miten valtiovalta- ja kuntatasolla toimitaan yhteistyössä tällaisessa ympäristölle tärkeässä asiassa. Valtiovalta hoitaa tarvittavat helpotukset veroihin ja kuntatasolla järjestetään pysäköinti- ja ruuhkamaksuihin helpotuksia. Ruotsissa hybriditeknikalla varustetun työsuhteauton verotusarvo on vastaavan bensiinimallin tasolla tai alhaisempi. Lisäksi Ruotsissa on vaatimus eri viranomaisille hankkia tietty osuus luontoa säästäviä ajoneuvoja.

Suomessa ei tällä hetkellä maa- ja biokaasusta makseta polttoaineveroa, joten tämän hetken hinnoilla kaasun käyttö bensiinin sijasta on kannattavaa.

Suomen autoverotus ja mahdolliset uudistukset

Esitetty on autoverotuksen painopisteen siirto auton hankinnasta, sen käyttöön ja hiilidioksidipäästöihin perustuvaan verotukseen. Tällä hetkellä käytössä oleva perusvero toimii huonosti, sillä nyt maksetaan uudemmasta vähemmän saastuttavasta autosta enemmän vuotuista veroa kuin vanhemmasta.

Yhtä huono tilanne on dieselhenkilöautojen kohdalla, jossa verotus on ajanut tilanteen siihen pisteeseen, että vain paljon ajavilla (noin 25 000km tai enemmän) se on kannattavaa bensiiniautoon verrattuna.

Tällainen verotus ei suosi pieniä energiatehokkaita dieselautoja ja näin isojen, paljon kuluttavien dieselautojen määrä on kasvanut Suomessa, vaikka käyttövoimaveron on porrastettu auton kokonaispainon mukaan.

Hybridiautojen osalta todella toivotaan muutosta autoverotukseen Suomessa. Nykyisellä systeemillä hybridiauton hankinta kannattaa vasta noin 30 000 km ajomäärällä vuodessa. Käytön tulisi olla kannattavaa erityisesti kaupunkiajossa, jossa hybriditeknikalla vähennetään päästöjä ja energiankulutusta.

Valtiovarainministeriö vaikenee kuitenkin vielä tekniikkaspesifisistä

verohuojennuksista. Taulukkoon 13 on kerätty viime vuosilta tieliikenteen verotuksen kertymät.

Taulukko 13 Tieliikenteestä perittävien verojen määrä /10/
Tieliikenteestä perittävien verojen kertymä (miljoonaa euroa)

	Poltto- ainevero benssiini*	Poltto- ainevero diesel*	Auto- ja moottori- pyörävero	Moottori- ajoneuvo- vero	Ajoneuvo- vero	Verot yhteensä (ilman alv)	ALV	Vakuutus- maksuvero	Verot+ALV yhteensä
1990	643	318	697	140	-	1 798	1 366	137	3 301
1991	775	309	400	145	-	1 629	1 218	146	2 993
1992	905	310	334	137	-	1 686	1 187	136	3 009
1993	1 013	337	271	149	-	1 770	1 176	130	3 076
1994	1 082	408	346	142	104	2 082	1 259	115	3 456
1995	1 189	462	452	112	176	2 411	1 394	115	3 920
1996	1 313	537	607	156	187	2 800	1 660	119	4 579
1997	1 375	558	708	165	190	2 996	1 828	128	4 952
1998	1 350	589	885	175	201	3 200	2 202	140	5 542
1999	1 383	624	1 029	185	209	3 430	2 214	163	5 807
2000	1 338	715	1 059	181	220	3 513	2 268	181	5 962
2001	1 366	663	922	209	227	3 357	1 845	233	5 465
2002	1 377	694	1 023	218	233	3 545	1 858	245	5 648
2003	1 479	741	1 207	230	243	3 900	1 941	241	6 082
2004	1 489	760	1 235	-	513	3 997	2 121	241	6 359
2005	1 473	767	1 277	-	536	4 053	2 225	241	6 519
2006	1 471	802	1 304	-	567	4 144	2 709	248	7 101

13 PÄÄTELMÄT

Yhteenveto polttoaineista

Bensiini

Moottoribensiini sopii nykyisiin bensiinikäyttöisiin autoihin hyvin. Kehittyneissä maissa moottoribensiini on erittäin puhdasta ja pitkälle jalostettua. Useissa maissa on saatavilla nk. reformuloitua bensiiniä, jonka ominaisuudet on kehitetty sellaisiksi, että pakokaasupäästöt olisivat mahdollisimman vähän haitallisia.

Bensiinin energiasisältö on korkea sekä painoon että tilavuuteen nähden. Bensiinin varastointiin, jakeluun ja tankkaukseen on kehitetty kattava verkosto.

Bensiinimoottorista syntyviä päästöjä pystytään hallitsemaan hyvin katalysaattorin avulla, mutta kuitenkin hiilidioksidipäästöt (215 g/km) jäävät noin 25% maakaasun vastaavaa arvoa suuremmaksi.

Maakaasu/nestekaasu

Maakaasu on kaupallisella asteella oleva polttoaine, jolla saavutetaan vähäiset päästöt varsinkin hiilidioksidipäästöt (169 g/km) nykyisiin bensiinimoottoreihin verrattuna.

Maakaasun varastointi autossa on kalliimpaa ja hankalampaa kuin perinteisillä polttoaineilla. Lisäksi toimintamatka tankkausta kohti jää lyhyemmäksi.

Maakaasua käyttävä moottori on yleensä taloudellisempi kuin vastaava bensiinimoottori. Maakaasun jakeluverkosto on vielä keskeneräinen. Gasum Oy:llä on tällä hetkellä kuusi maakaasun tankkauspistettä ja muutamia asemia on tulossa lisää lähivuosina.

Nestekaasulla ei ole varsinaista tankkausverkostoa ja sen käytöllä saavutettavat edut hiilidioksidipäästöissä (197 g/km) bensiiniin nähden ovat vähäisemmät kuin maakaasun käytössä. Varastointi autossa ja toimintamatka tankkausta kohti ovat myös nestekaasun ongelmia.

Biokaasu

Liikennekäyttöön jalostettu biokaasu on tällä hetkellä kokeiluasteella. Alan tutkimusta tehdään lähinnä Ruotsissa, mutta Suomessa sijaitsee suurin biokaasun tuottaja Ämmänsuon kaatopaikka. Biokaasu on jalostettava laadullisesti vastaamaan maakaasua, jolloin voidaan hyödyntää jo olemassa olevaa maakaasujouvojen tankkaustekniikkaa. Biokaasu on myös polttoaine, jolla saavutetaan vähäiset hiilidioksidipäästöt bensiinimoottoriin verrattuna.

Biokaasun suurimpana hyötynä nähdään se, että sitä tuotetaan uusiutuvista orgaanisista aineksista, jolloin se korvaa fossiilisia polttoaineita eikä rasita ilmakehän CO₂-tasapainoa.

Yhteenveto hybriditekniikasta

Volvo ja Toyota ovat edelläkävijöitä hybriditekniikassa. Toyotan Priuksesta on myynnissä jo toinen mallisarja ja hybridijärjestelmä on kehittynyt hieman viime vuosina. Volvo on tuomassa markkinoille Multifuel-mallia, jossa moottori pystyy hyödyntämään viittä eri polttoainevaihtoehtoa. Malli on kehitetty Ruotsissa biopolttoaineiden käyttöhalukkuuden kasvun vuoksi. Bi-fuel-järjestelmällä varustettua autoa ei ole unohdettu vaan tuotantoa jatketaan heti, kun kysyntä lisääntyy esimerkiksi Suomessa.

Tekniikka on jo tällä hetkellä riittävän kehittynyttä siihen, että Suomessakin pystyttäisiin tieliikenteestä aiheutuvia päästöjä laskemaan näitä hybridimalleja suosimalla.

Suomessa tieliikenteestä hankittavat verotulot ovat suuret. Tästä syystä hybridiautot jäävät vielä kokonaiskustannuksiltaan kalliimmiksi kuin vastaavat bensiinimallit. Vastaavanlaisilla verohelpotuksilla kuten Ruotsissa, saataisiin

kustannukset sopivan edullisiksi jokaiselle uuden auton tai työsuhdeauton ostajalle. Maakaasun hintaa on laskettu verotusprosenttia alentamalla, mutta yksin tämä ei riitä kannustamaan autoilijoita säästämään luontoa ylimääräisiltä tieliikenteen päästöiltä.

Maakaasun pieni tankkausverkosto on osasyllinen haluttomuuteen ostaa maakaasua käyttävä ajoneuvo. Lisäksi nestekaasun jakelu on vielä huonommin järjestetty, kuin maakaasun eli ei ole tällä hetkellä järkevää hankkia nestekaasua edes vaihtoehtoisesti käyttävää ajoneuvoa Suomeen.

Vaihtoehtoisten polttoaineiden tankkausasemien vähäisyys on tällä hetkellä kuolettava isku Volvon Bi-fuel-mallien leviämiselle Suomessa. Kuka haluaisi ostaa kalliimman hybridijärjestelmällä varustetun auton ja ajaisi autolla pelkällä bensiinillä, varsinkin kun bensiinisäiliöiden koko on noin 30 litraa.

Toyota Priuksessa oleva hybridijärjestelmä on ehkä järkevin ja käyttäjälle vaivattomin vaihtoehto vielä tällä hetkellä. Toyotan hybridijärjestelmä auttaa säästämään polttoainekustannuksissa sähkön avulla ja edes erillistä akkujen lataamista ei tarvitse tehdä. Kattavan takuun saava auto ja hybridijärjestelmä kestävät Suomen talven, ja ovat tuttua ja turvallista japanilaista tekniikkaa.

14 YHTEENVETO

Hybriditekniikka perustuu tavalliseen bensiinimoottoriin, johon on asennettu lisälaitteisto, jolla voidaan hyödyntää vaihtoehtoista polttoainetta. Tällaisia yleisimpiä variaatioita ovat bensiini/maakaasu (CNG), bensiini/biokaasu, bensiini/nestekaasu (LPG) ja bensiini/sähkö.

Hybriditekniikan lanseerauksen on aiheuttanut kasvava autojen määrä maailmassa ja niiden tuottamat pakokaasupäästöt, jotka aiheuttavat otsonikatoa ja kasvihuoneilmiötä.

Hybriditekniikka on kehittynyt ja nykyiset markkinoilla olevat mallit ovat jo tekniikan osalta valmiita korvaamaan bensiinimoottoriset autot. Rakenteet ovat erittäin kompakteja, luotettavia ja normaalin bensiinimoottorin yhteyteen siististi rakennettuja.

Hybridijärjestelmät eivät eroa ulkoisesti, eivätkä huoltovälien tai sisätilojen osalta vastaavista bensiinimalleista. Hybriditekniikalla ja vaihtoehtoisilla polttoaineilla päästään yleisesti 25% alhaisempiin hiilidioksidipäästöihin ja alhaisempaan

kulutukseen. Nämä lukuarvot vaihtelevat käytetyn vaihtoehtoisen polttoaineen mukaan, mutta jokaisella tässä työssä käsitellyllä hybridivariaatiolla voitetaan bensiinimoottorilla varustettu malli hiilidioksidipäästöissä.

Bensiini on energiasisällöltään parempi kuin kaasut, mutta kaasujen etuja ovat parempi puristuskestävyys ja puhtaampi palaminen. Kaasut soveltuvat hyvin moottoripolttoaineiksi.

Ongelma hybriditekniikan leviämiseksi on tieliikenteen ja autojen verotus. Hybridiautojen kalliimmat ostohinnat eivät innosta ostajaa, vaikka käyttökustannukset ovat melkein samat bensiinimoottorisen auton kanssa. Selvitysten mukaan bensiinimoottorin elinkaari jatkuu mahdollisesti vielä 15-20 vuotta, kunhan käytössä ovat loppuun asti kehitetyt nykytekniikat: suorasuihkutus, muuttuva venttiilien ajoitus ja mahdollisesti ahtaminen. Seuraavat 15-20 vuotta varmasti ajetaan bensiinimoottorisella autolla, ellei verotusta kevennetä. Autoveron kevennyksille varjopuolena on auton arvon nopeampi aleneminen. Lisäongelmia aiheuttaa vielä keskeneräiset jakeluverkostot maa- ja nestekaasulle. Gasum Oy:n panostus laajentaa tankkausketjua, mutta hitaasti. Lisäksi nestekaasun tankkaus autokäyttöön ei onnistu edes Gasumin tankkauspisteillä.

Hybriditekniikan kehitys ei saa pysähtyä, vaan jatkossa tulevien päästörajien alitus vaatii taas kehittyneempää tekniikkaa. Volvo on antanut hyvää esimerkkiä kehityksestä. Kun Bi-fuel-mallien myynti ei vielä ole kunnolla käynnistynyt, niin markkinoille tulee Multi-fuel-malli, jonka moottorissa voidaan käyttää viittä eri polttoainetta. Tämän mallin myötä ei olla sidoksissa enää yhteen tai kahteen tankkausverkostoon.

Lisäksi bensiinimoottorilla varustettuja autoja kehitetään vielä jatkossakin kiinnostavaksi vaihtoehdoksi luontoa säästävän mallin rinnalle.

Työtä on mahdollista tulevaisuudessa jatkaa päivittämällä jo läpikäytyjen hybriditekniikoiden ja polttoaineiden muutoksia sekä kehittymistä. Lisäksi työhön voi ottaa mukaan muilta automerkeiltä mahdollisesti erityyppisiä hybridiratkaisuja. Työtä hieman muuttamalla mukaan saa myös kattavan paketin pelkästään nestekaasu- ja maakaasukäyttöisistä moottoriajoneuvoista.

LÄHTEET

Painetut lähteet

- 1 Toyota Auto Finland Oy, Toyota Prius esite, Vantaa 2007, 43 s.
- 2 Ahonen, Hannu, Volvo V70 Bi-Fuel. Tekniikan maailma 22/2005, s. 36
- 3 Ahonen, Hannu, Sanoista tekoihin Toyota Prius. Tekniikan maailma 6/04, s. 154-157
- 4 Ahonen Hannu ja Aromaa Pekka, Matka uuden tekniikan voimin. Tekniikan maailma 20/05, s. 70-81
- 5 Bosch, Autoteknillinen taskukirja, Gummerus Oy, Jyväskylä 2003, 1021 s.
- 6 Nils-Olof Nylund, On the development of a low-emission propane engine for heavy-duty urban vehicle applications (kipinäsytytteen ottomoottorin osuus). Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1995. 229 s.

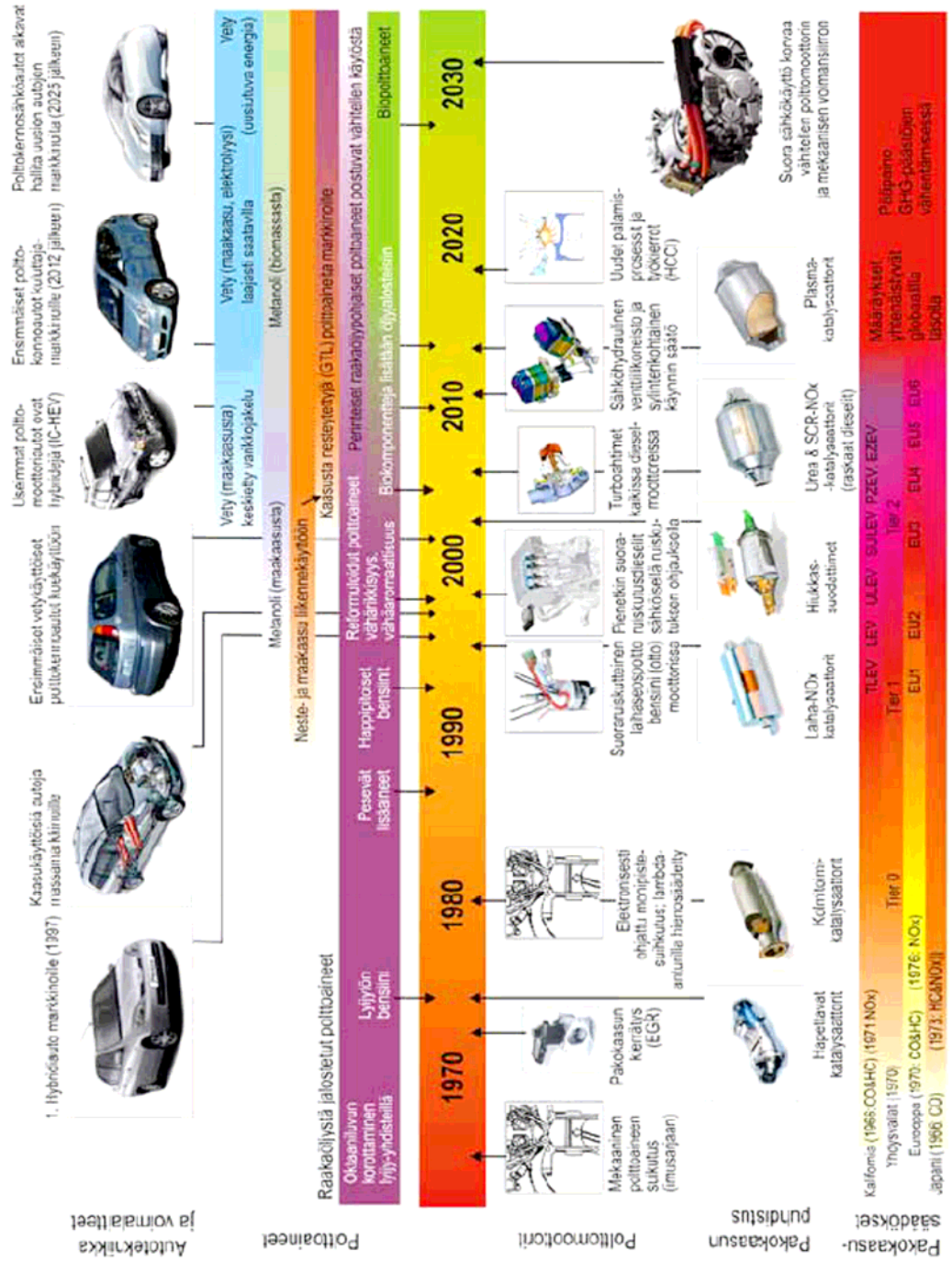
Painamattomat lähteet

- 7 Autoalan Koulutuskeskus Oy, Uutta moottoritekniikasta ja polttoaineista. Kurssimateriaali. SATL. Helsinki 2007

Sähköiset lähteet

- 8 Vaihtoehtoiset polttoaineet ja ajoneuvot. Nils-Olof Nylynd. Saatavissa: www.treatise.eu.com
- 9 Vähäpäästöiset ajoneuvot Helsingissä, VTT:n ja TEC:n selvitystyö kaasun ja muiden vähäpäästöisten tekniikoiden käyttö mahdollisuuksista. Saatavissa: www.hel.fi/wps/wcm/connect/resources
- 10 Öljy- ja Kaasualan Keskusliitto. [[www-sivu](http://www.sivu)]. Saatavissa: www.oil-gas.fi
- 11 Hybridillä Hämeen hangissa - koeajossa Toyota Prius 1.5 HSD. Saatavissa: www.ajovalo.net/Koeajot/Prius_laaja.html
- 12 Toyota Prius road test. Saatavissa: www.familycar.com
- 13 Hybriditekniikan lyhyt oppimäärä. Saatavissa: www.tuulilasi.fi
- 14 Oinas, Jani, Volvon maahantuonnin tutustumismateriaali (Bi-fuel). [sähköpostiviesti.] 1.3.2007
- 15 Laurikko, Juhani, Vaihtoehtoisten polttoaineiden ja ajoneuvotekniikan kehitys sekä tulevaisuus liikenteen päästöjen vähentämiseksi. VTT. Saatavissa: <http://www.ytv.fi/NR/rdonlyres>
- 16 Gasum Oy. [www-sivu]. Saatavissa: www.gasum.fi
- 17 Toyota Hybrid System. Saatavissa: www.in.gr

Moottorien ja ajoneuvotekniikan kehitys /15/



Eri polttoaineiden ja energiaketjujen kasvihuonepäästöt ja ketjun kokonaisenergian tarve /15/

